

SÉRIE A, N° 931

N° D'ORDRE :

1754

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

M. Georges BOURGUIGNON

Docteur en Médecine

Ancien interne des Hôpitaux de Paris

Chef du Laboratoire d'Electro-Radiologie de la Salpêtrière

Membre correspondant de l'Académie Royale de Médecine de Turin

1^{re} THÈSE. — LA CHRONAXIE CHEZ L'HOMME. — ETUDE DE PHYSIOLOGIE
GÉNÉRALE DES SYSTÈMES NEURO-MUSCULAIRES ET DES
SYSTÈMES SENSITIFS.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le **15 JUIN** mai 1923 devant la Commission d'examen.

MM. LAPICQUE.....	<i>Président.</i>
DANGEARD.....	} <i>Examineurs.</i>
DEREIMS.....	

PARIS

MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 120

1923

SÉRIE A, N° 951

N° D'ORDRE :

1754

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

M. Georges BOURGUIGNON

Docteur en Médecine

Ancien interne des Hôpitaux de Paris

Chef du Laboratoire d'Electro-Radiologie de la Salpêtrière

Membre correspondant de l'Académie Royale de Médecine de Turin

1^{re} THÈSE. — LA CHRONAXIE CHEZ L'HOMME. — ETUDE DE PHYSIOLOGIE
GÉNÉRALE DES SYSTÈMES NEURO-MUSCULAIRES ET DES
SYSTÈMES SENSITIFS.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le **15 JUIN** mai 1923 devant la Commission d'examen.

MM. LAPICQUE.....	<i>President.</i>
DANGEARD.....	} <i>Examineurs.</i>
DEREIMS.....	

PARIS

MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 120

1925

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

MM.

<i>Doyen</i>	MOLLIARD, <i>Prof.</i>	Physiologie végétale.
<i>Doyen honoraire</i> ...	P. APPELL.	
<i>Profess. honoraires</i> ..	P. PUISEUX.	
	VÉLAIN.	
	BOUSSINESQ.	
	PRUVOT.	
<i>Professeurs</i>	EMILE PICARD.....	Analyse supér. et algèbre supérieur.
	KOENIGS.....	Mécanique physique et expérimentale.
	GOURSAT.....	Calcul différentiel et calcul intégral.
	HALLER.....	Chimie organique.
	JOANNIS.....	Chimie (Enseignement P. C. N.).
	JANET.....	Electrotechnique générale.
	WALLERANT.....	Minéralogie.
	ANDOYER.....	Astronomie.
	PAINLEVÉ.....	Mécanique anal. et mécan. céleste.
	HAUG.....	Géologie.
	H. LE CHATELIER.	Chimie générale.
	GABRIEL BERTRAND.	Chimie biologique.
	M ^{me} P. CURIE.....	Physique générale et radioactivité.
	CAULLERY.....	Zoologie. (Évolution des êtres organisés).
	C. CHABRIE.....	Chimie appliquée.
	G. URBAIN.....	Chimie minérale.
	EMILE BOREL.....	Calcul des probabilités et phys. mathém.
	MARCHIS.....	Aviation.
	JEAN PERRIN.....	Chimie physique.
	G. PRUVOT.....	Anatomie et physiologie comparées.
	ABRAHAM.....	Physique.
	CARTAN.....	Mécanique rationnelle.
	CL. GUICHARD.....	Géométrie supérieure.
	LAPICQUE.....	Physiologie.
	GENTIL.....	Géographie physique.
	VESSIOT.....	Théorie des groupes et calc. des variat.
	COTTON.....	Physique générale.
	DRACH.....	Application de l'analyse à la géométrie.
	C. FABRY.....	Physique.
	CHARLES PEREZ.....	Zoologie.
	LÉON BERTRAND.....	Géologie appliquée et géologie région
	DANGEARD.....	Botanique.
	LESPIEAU.....	Théories chimiques.
	LEDUC.....	Physique théorique et phys. céleste.
	MONTÉL.....	Mathématiques générales.
	MAURAIN.....	Physique du Globe.
	RABAUD.....	Biologie expérimentale.
	WINTREBERT.....	Anatomie et physiologie comparées.
	HEROUARD.....	Zoologie.
	RÉMY PERRIER.....	Zoologie (Enseignement P. C. N.).
	SAGNAC.....	Physique théorique et physique céleste
	PORTIER.....	Physiologie.
	BLAISE.....	Chimie organique.
	PECHARD.....	Chimie (Enseignement P. C. N.).
	AUGER.....	Chimie analytique.
	M GUICHARD.....	Chimie minérale.
	GUILLET.....	Physique.
<i>Secrétaire</i>	DANIEL TOMBECK	



*A ma chère femme,
dont l'aide dévouée et discrète
m'a permis de mener à bien ce travail.*

A LA MÉMOIRE
DU PROFESSEUR DASTRE

ET DES PROFESSEURS RAYMOND ET J. DEJERINE

A MONSIEUR LE PROFESSEUR D'ARSONVAL
Membre de l'Institut
Professeur au Collège de France

A MONSIEUR LE PROFESSEUR L. LAPICQUE
Professeur à la Faculté des Sciences



Digitized by the Internet Archive
in 2026

PRÉFACE

« C'est par l'alliance féconde de la clinique et de la physiologie, que nous verrons se réaliser les progrès vivement désirés par tous les amis de la médecine positive. »

CL. BERNARD — *Leçons de Pathologie expérimentale et Leçons sur les Propriétés de la moelle épinière*, 2^e édition, 1880, p. 10.

Lorsque, au mois de juillet 1910, j'entrai comme assistant bénévole au laboratoire d'Électro-Radiothérapie de la Salpêtrière, dirigé par mon regretté maître le docteur Huet, mon maître de la Faculté des sciences, le professeur Lapicque, venait de donner une mesure de l'excitabilité qu'il a appelée « Chronaxie ».

Imbu de l'enseignement que j'avais reçu de lui à la Faculté des sciences au laboratoire de M. le professeur Dastre, je résolus de tenter de faire cette mesure à travers les téguments chez l'homme.

Avec la collaboration de mon camarade de laboratoire et ami Henri Laugier, nous avons d'abord essayé d'utiliser les installations courantes et de nous servir du chariot d'induction pour déterminer un indice qui est fonction de la chronaxie ainsi que venaient de le faire, en physiologie animale, Mme Lapicque et Jeanne Weill. Ces recherches nous donnèrent des résultats encourageants qui ont été présentés en 1911 et 1912 à diverses sociétés savantes et ont fait le sujet de la thèse de Doctorat en médecine de mon ami Henri Laugier (1915).

Mais cette méthode, quoique très supérieure à ce qui avait été fait jusque-là en électro diagnostic et électro physiologie humaine, était d'une application assez laborieuse; en outre, elle manquait de précision, de sorte qu'on ne pouvait tirer de conclusions que des moyennes d'un très grand nombre d'expériences.

Il fallait donc, de toute nécessité, arriver à mesurer la chronaxie elle-même.

C'est à établir une technique de mesure de la chronaxie à travers les téguments à l'aide des décharges de condensateurs que sont consacrées une partie des recherches exposées dans cet ouvrage.

Ce résultat ayant été obtenu, c'est à étudier avec cette technique la physiologie générale des systèmes neuro-musculaires cérébro-spinaux et du système nerveux sensitif que j'ai consacré mes efforts. Cette étude m'a permis d'établir une classification fonctionnelle des nerfs moteurs et des muscles squelettiques de l'homme et de montrer les rapports qui unissent le système moteur et le système sensitif dans une même région. Cette étude se complète par celle de faits pathologiques qui s'expliquent par les données physiologiques et, d'autre part, les étendent.

Les recherches qui font l'objet de ce travail ont été commencées au laboratoire d'électro-radiothérapie de la Salpêtrière au début de 1911.

Interrompues par la mobilisation, j'ai pu les reprendre à la fin de 1915, lorsque j'ai été appelé à diriger le laboratoire d'électrothérapie du centre de Neurologie de la 10^e région à Rennes.

J'ai pu les poursuivre en 1916 et 1917, pendant les quelques loisirs que pouvait me laisser le service de santé militaire.

Le travail intensif de l'année 1918 ne me laissa aucun loisir et je ne pus les reprendre qu'à la fin de 1919, après ma démobilisation et mon retour au laboratoire de la Salpêtrière, dont j'étais devenu le chef depuis le 1^{er} janvier 1914.

C'est là que je les ai terminées pendant les années 1920, 1921, 1922 et 1925.

Lorsque mon maître vénéré et regretté M. le professeur Dastre présenta à l'Académie des sciences mes premiers résultats en juillet 1916, M. le professeur Lapicque fit d'extrêmes réserves sur eux, en raison du fait qu'il n'avait pas trouvé la classification que j'annonçais, à l'aide du chronaximètre établi quelques mois plus tôt, en décembre 1915.

Aussi, dès mon retour, je fis des recherches de contrôle à

l'aide du pistolet de Weiss, avec la collaboration de mon ami Henri Laugier. M. le professeur Lapicque voulut bien, à ma demande, venir au laboratoire de la Salpêtrière, et, après avoir assisté à quelques expériences, après avoir vérifié le montage que j'emploie, les précautions d'isolement que j'ai prises et toute mon installation, il se rallia à ma manière de voir. C'est avec son autorisation que je puis dire aujourd'hui qu'il s'est « incliné devant la précision et la rigueur de mes expériences ».

C'est à la suite de ces vérifications qu'il a bien voulu accepter ces travaux comme sujet de ma thèse de doctorat ès-sciences naturelles, comme l'avait fait M. le professeur Dastre, enlevé par un accident stupide à l'affection de ses élèves.

*
* *
*

Qu'il me soit permis, au seuil de ce travail, de dire toute l'affection que j'avais vouée à M. Dastre, toute la reconnaissance que je lui garde pour la bienveillance et l'estime croissantes qu'il m'a témoignées depuis le jour où, en 1905, étant interne des hôpitaux, je vins me mettre à son école pour compléter et généraliser les études biologiques que j'avais déjà faites au point de vue médical.

C'est au laboratoire de physiologie de la Sorbonne que j'ai appris, en suivant l'enseignement de M. Lapicque, alors maître de conférences, la rigueur scientifique de l'électro physiologie et que j'ai puisé les éléments qui m'ont permis de poursuivre les recherches d'électro physiologie humaine qui sont exposées dans ce travail. Que M. le professeur Lapicque me permette de lui dire toute ma reconnaissance et toute ma gratitude pour les conseils qu'il m'a donnés à différentes reprises.

Depuis la mort de M. Dastre, M. le professeur d'Arsonval a bien voulu se charger de présenter mes notes à l'Académie des sciences. Il m'a réservé le plus bienveillant accueil, il s'est intéressé à mes recherches et a bien voulu les approuver. Qu'il me permette de lui dire toute ma reconnaissance, toute la respectueuse affection que j'ai pour lui et quelle joie me donnent les entretiens scientifiques qu'il veut bien avoir avec moi.

Une partie de ces recherches sont dues à la collaboration,

que les circonstances ont rendue trop courte, du docteur Barré, devenu depuis professeur à la Faculté de médecine de Strasbourg. D'autres ont été poursuivies avec la collaboration d'élèves de mon laboratoire de la Salpêtrière, les docteurs Banu, Ramos, Radovici, Tupa, Tarnauceanu, Spilliaert, ou de mon assistant au laboratoire du centre de Neurologie de Rennes, le docteur Jean Lucas, et je suis heureux de leur dire tout le plaisir que m'a procuré ce travail en commun.

Mon ami Henri Laugier a collaboré, à plusieurs reprises, avec moi, tant pour les recherches de contrôle dont j'ai parlé et des expériences qu'on trouvera dans ce travail que pour de nombreux travaux étrangers au sujet que je traite ici. Il sait combien cette cordiale collaboration m'est agréable et que mon désir le plus cher est de la voir se poursuivre le plus longtemps possible.

*
* * *

Rendre les recherches sur l'homme ou l'animal entier aussi précises que les recherches sur les nerfs et muscles mis à nu, faire ainsi profiter la médecine des progrès de la physiologie, contribuer en retour aux progrès de la physiologie en la faisant profiter des expériences si variées que la pathologie réalise, tel est le but que je poursuis, tel est le guide de toute ma vie scientifique et pratique. Je serai heureux si je puis, pour ma faible part, contribuer à réaliser cette association féconde de la physiologie et de la médecine dont nous ont donné l'exemple nos grands médecins physiologistes français : Magendie, Claude Bernard, Brown-Séquard, Vulpian, Duchenne de Boulogne, Marey et tant d'autres.

G. BOURGUIGNON

23 mai 1925.

LA CHRONAXIE CHEZ L'HOMME

ÉTUDE DE PHYSIOLOGIE GÉNÉRALE
DES SYSTÈMES NEURO-MUSCULAIRES ET SENSITIFS

INTRODUCTION

LA LOI D'EXCITATION ET LA CHRONAXIE

S'il est une branche des sciences biologiques qui soit arrivée à un degré de précision digne de celle des sciences physico chimiques, c'est bien l'électro-physiologie, et cela grâce à l'introduction de la notion de *temps* dans l'étude de l'excitation électrique nerveuse et musculaire.

Après une longue suite de travaux (Fick, Brücke, Engelmann, Waller, d'Arsonval, Wertheim Salomonson, Dubois-de-Berne, Zanié-towski et Cybulski, etc...) dont je ne referai pas l'historique¹, les recherches fondamentales de Hoorweg (1892) et de Georges Weiss (1901), démontrèrent définitivement que la loi de Dubois-Raymond est fausse et mirent en évidence le rôle que joue le *temps* dans l'excitation. L. Lapicque et Mme Lapicque donnèrent le nom de « Chronaxie » (1906) à la caractéristique d'excitabilité et en firent voir toute l'importance en physiologie générale et comparée.

1. Pour l'historique de la loi d'excitation, voir les travaux suivants :

MARCELLE DE HÉRÉDIA-LAPICQUE. Recherches sur l'excitabilité de divers muscles de vertébrés et invertébrés. *Thèse de la Fac. des Sciences de Paris*, 1905. — HENRI LAUGIER. Vitesse d'excitabilité et courants induits. Méthodes nouvelles en électro-diagnostic. *Thèse de la Fac. de Médecine de Paris*, 1913. — GEORGES BOURGUIGNON. La notion de la vitesse d'excitabilité en physiologie et pathologie nerveuses. *Soc. fr. d'Electrothérapie et Radiologie*, décembre 1912. — L'emploi des méthodes électriques dans le diagnostic et le pronostic des paralysies par lésions des nerfs périphériques. *Journal de Radiologie et Electrolologie*, t. VI, n° 12, décembre, 1922. — Dans ces travaux, j'ai fait de nombreux emprunts, pour l'historique, à la thèse de MME LAPICQUE.

C'est de ces travaux que je suis parti pour chercher le moyen de mesurer la chronaxie chez l'homme et étudier ainsi chez lui l'excitabilité, tant au point de vue physiologique qu'au point de vue pathologique. Il est donc nécessaire, avant d'entrer dans le cœur même de mon sujet, de résumer ces travaux fondamentaux de Hoorweg, G. Weiss et L. et M. Lapicque.

I

LOI DE HOORWEG

Dubois-Raymond (1845-1848), par des expériences faites exclusivement sur le gastro-cnémien de la grenouille avait donné une loi qui porte son nom et qu'on peut résumer dans la proposition suivante :

L'excitation est produite exclusivement par la variation d'intensité (plus exactement de densité électrique) ; le temps de passage du courant ne joue aucun rôle dans l'excitation.

A la suite des recherches de nombreux auteurs déjà cités dans le détail desquels je n'entrerai pas, Hoorweg¹ (1892), en utilisant l'excitation par décharges de condensateurs que Chauveau et d'Arsonval (1889) venaient d'introduire en électro physiologie, démontra définitivement que la loi de Dubois-Raymond est fausse et donna la loi qui porte son nom.

Hoorweg opérait sur l'homme dans les conditions ordinaires de l'électro diagnostic, c'est-à-dire avec un circuit de résistance inconnue, et qu'il supposait constante pendant la durée de l'expérience. Il a pu ainsi démontrer le rôle du facteur *temps* dans l'excitation; il n'a pas pu donner de caractéristique de l'excitabilité.

En supposant, en effet, la résistance du circuit de décharge du condensateur constante, la durée de la décharge, qui est fonction du produit RC de la résistance par la capacité, devient proportionnelle à la capacité. On peut donc dans ces conditions, comme l'a fait Hoorweg, démontrer le rôle du temps; mais, pour une même durée de décharge la capacité varie d'un sujet à l'autre, ou d'une région à l'autre, la résistance de la peau n'étant pas la même pour tous les sujets ni pour toutes les régions : on ne peut donc pas, dans ces conditions, trouver de capacité caractéristique de l'excitabilité.

Hoorweg cherchait le voltage nécessaire pour obtenir le seuil de la contraction avec des capacités variables. Dans ces conditions, pour les capacités inférieures à une certaine valeur variable à la fois avec l'excitabilité et avec les conditions de l'expérience (surface des

1. HOORWEG. *Archives de Physiologie*, 1897, p. 269. Résumé des travaux antérieurs publiés en allemand.

électrodes, situation des électrodes, etc.), le voltage *liminaire*¹ augmente quand la capacité diminue. Au contraire pour les capacités supérieures à cette valeur limite le voltage liminaire reste le même

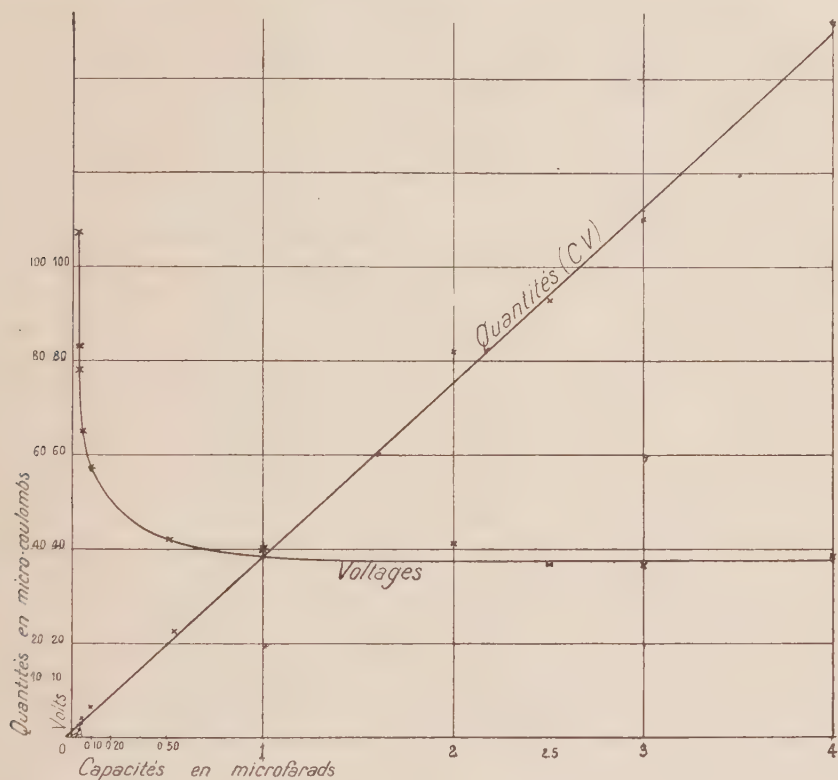


FIG. 1. — LOI DE HOORWEG. HOMME.

Long supinateur gauche (Point moteur).

$a = 1 \text{ mc.}$ $b = 37,5.$

quelle que soit la capacité employée. Il y a donc une durée de décharge-limite, au-dessus de laquelle le temps n'intervient plus, et au-dessous de laquelle, au contraire, la durée de la décharge et, par suite, la quantité d'électricité intervient. La quantité d'électricité (Cv) liminaire croît avec la capacité.

La loi de la variation du voltage liminaire en fonction de la capacité est une hyperbole équilatère, dont les asymptotes sont l'axe des

1. L'expression de *liminaire*, employée par LAPICQUE, se définit d'elle-même : le voltage *liminaire*, c'est le voltage qui donne le seuil de la contraction. Nous dirons de même intensité *liminaire*, capacité *liminaire*, durée *liminaire*, au lieu de capacité qui donne le seuil, intensité qui donne le seuil, etc..

ordonnées et une parallèle à l'axe des abscisses. La loi de la variation de la quantité d'électricité liminaire en fonction de la capacité est la droite correspondant à cette hyperbole; elle a une ordonnée à l'origine (Voir fig. 1).

La loi d'Hoorweg s'exprime donc par les deux équations suivantes :

$$(1) \quad V = \frac{a}{C} + b.$$

C'est la loi des voltages.

$$(2) \quad CV = a + bC$$

C'est la loi des quantités.

Dans ces formules, C désigne la capacité employée, V le voltage liminaire, et a et b deux constantes. La constante a est la quantité d'électricité mesurée par l'ordonnée à l'origine de la droite. C'est aussi le produit constant des deux ordonnées de l'hyperbole rapportée à ses axes, c'est-à-dire en soustrayant de V la valeur de la constante b . La constante b est le voltage liminaire pour une capacité infinie. Elle est donc l'asymptote de l'hyperbole. En fait, Hoorweg, bien qu'il opérât sans mesurer la résistance du circuit, introduisait la résistance R , qu'il considérait comme constante, dans sa formule, en remplaçant le voltage b par l'expression bR . Il donne donc la formule suivante : $CV = a + bRC$. Pratiquement, on peut considérer que bR est le voltage minimum capable d'exciter le nerf ou le muscle considéré, dans les conditions de l'expérience (surface des électrodes, situation relative des deux électrodes, situation de l'électrode active en méthode monopolaire par rapport au muscle ou au nerf sous-jacents, etc...).

Le rôle que joue la quantité d'électricité, et par suite la durée de la décharge des condensateurs dans l'excitation, ressort bien nettement de la loi d'Hoorweg, la durée de la décharge étant proportionnelle à RC .

II

LOI DE WEISS

En 1901, Georges Weiss¹ substitua à l'onde décroissante de la décharge de condensateur, l'onde rectangulaire du courant continu. Il obtient des ondes rectangulaires de très courte durée (de 1/10 000 à quelques 1/1000 de seconde) au moyen d'une carabine à acide carbonique dont la balle, de vitesse connue, coupe successivement deux fils de cuivre très fins placés à une distance exactement mesurée. La coupure du premier fil placé en court-circuit sur le circuit d'utilisation établit le courant dans le tissu en expérience; la coupure du

deuxième fil, placé en série avec le tissu en expérience, rompt le courant.

Le premier fil est placé à une distance fixe de la bouche du canon de la carabine. Le deuxième fil peut se déplacer le long d'une règle graduée. En utilisant seulement une courte longueur de la trajectoire, la vitesse de la balle peut être considérée comme uniforme, et les durées de passage du courant sont proportionnelles aux écarts des fils. La durée de passage du courant est voisine de $0,05^t$ par centimètre : on la détermine exactement expérimentalement au moyen d'un galvanomètre balistique.

Georges Weiss a opéré, dans les conditions ordinaires de la physiologie animale, sur les nerfs dénudés d'animaux hétérothermes, en particulier de la grenouille.

En mettant en série avec le tissu de grosses résistances sans self ($100\,000\ \omega$ à $300\,000\ \omega$), les variations de résistance du tissu sont rendues négligeables, et on peut substituer la lecture des voltages à la lecture des intensités impossible avec les courtes durées de passage du courant.

Weiss a ainsi montré que l'intensité liminaire diminue quand on augmente la durée de passage du courant jusqu'à une intensité minima qui reste la même bien qu'on continue à augmenter la durée de passage du courant. Cette intensité liminaire minima, variable d'ailleurs avec les conditions de l'expérience, est l'ancien seuil de Dubois-Reymond, connu en électrodiagnostic sous le nom de seuil galvanique.

En portant les temps en abscisses et les intensités en ordonnées, G. Weiss a établi une courbe (voir fig. 2) qui est une hyperbole équilatère. Cette hyperbole a pour asymptote une parallèle à l'axe des abscisses dont l'ordonnée représente l'intensité liminaire pour un courant de durée infinie. Pratiquement la valeur de l'asymptote se confond avec l'intensité liminaire minima. La durée limite à partir de

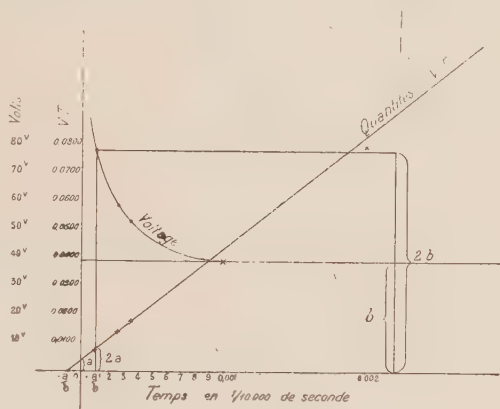


FIG. 2. — LOI DE WEISS. HOMME.

Biceps droit (Point moteur).

$$a = 0,0035$$

$$b = 39 \sigma \quad \frac{a}{b} = 0,00009.$$

1. Dans tout le cours de ce travail, je prendrai comme unité de temps pour exprimer les durées de passage du courant le $1/1000$ de seconde, comme l'a fait LAPICQUE. Le $1/1000$ de seconde est désigné par la lettre σ : $1\sigma = 0,001$.

laquelle l'intensité ne varie plus est assez difficile à préciser pratiquement: c'est à elle que Lapicque a donné le nom de *Temps utile*.

A cette hyperbole d'intensité, correspond une droite de quantité, lorsqu'on porte en ordonnées les quantités d'électricité liminaires. Cette droite, prolongée, a une ordonnée à l'origine et rencontre l'axe des temps du côté négatif (voir fig. 2).

Ces relations de l'intensité et de la quantité d'électricité liminaires avec le temps de passage du courant constituent la loi de Weiss qui s'exprime par les équations suivantes :

$$(1) \quad it = a + bt$$

C'est la droite des quantités.

$$(2) \quad i = \frac{a}{t} + b.$$

C'est l'hyperbole d'intensité.

Dans ces formules t représente le temps pendant lequel le courant a passé, i l'intensité liminaire pour le courant de durée t , et a et b deux constantes. La constante a est une *quantité d'électricité* : c'est l'ordonnée à l'origine de la droite des quantités. La constante b est une intensité, c'est l'ordonnée de l'asymptote de l'hyperbole, c'est-à-dire que c'est, pratiquement, l'intensité liminaire minima à partir du moment où le temps n'intervient plus.

De la loi de Weiss il résulte donc que l'excitation est due à une relation entre l'intensité et le temps de passage du courant, c'est-à-dire que le temps et par suite la quantité d'électricité interviennent dans l'excitation, comme Hoorweg l'avait déjà montré avec les condensateurs.

Cluzet¹ a montré que la loi de Weiss est générale et s'applique quelle que soit la forme de l'onde employée.

La valeur des constantes a et b de la loi de Weiss dépend non seulement de l'excitabilité, mais aussi des conditions de l'expérience, telles que la distance des électrodes, leur surface, leur pression, etc...

Mais Weiss a fait voir que, si le rapport des deux constantes $\frac{a}{b}$ varie avec les conditions de l'expérience, et principalement avec la distance des électrodes, il varie encore plus d'une espèce à une autre, comme il l'a montré en comparant un même muscle chez la grenouille, le crapaud et la tortue. Le rapport $\frac{a}{b}$, pour Weiss dépend donc de l'excitabilité et des conditions de l'expérience, particulièrement la distance des électrodes. Weiss a suggéré que c'était dans la mesure de ce rapport $\frac{a}{b}$ qu'on devrait chercher la caractéristique de l'excitabilité des nerfs et des muscles sains ou malades.

1. CLUZET. Loi d'Excitation par décharges de condensateurs. *Thèse de la Faculté des Sciences de Paris*, 1905.

III

LA CHRONAXIE

Partant de ces données, L. Lapique et Mme Lapique¹, par des expériences variées, ont montré que le rapport $\frac{a}{b}$ est le seul élément constant pour un muscle ou un nerf déterminé, dont il caractérise l'excitabilité.

Ce rapport $\frac{a}{b}$, quotient d'une quantité par une intensité est un *temps*. C'est ce temps, caractéristique de l'excitabilité que L. Lapique appelle *Chronaxie*².

Il est facile de voir que le temps de passage du courant *liminaire* est égal à $\frac{a}{b}$, c'est-à-dire à la *chronaxie*, lorsque l'intensité est égale à $2b$.

En effet lorsque $t = \frac{a}{b}$, la formule de Weiss, $i = \frac{a}{t} + b$, devient $i = \frac{a}{\frac{a}{b}} + b = 2b$. Sur les graphiques on trouve aussi la valeur de $t = \frac{a}{b}$: c'est le temps pour lequel la quantité d'électricité serait nulle : c'est le point où la droite prolongée rencontre l'axe des abscisses (voir la fig. 2).

Par une transformation très simple de la formule de Weiss, L. Lapique y fait apparaître le rapport $\frac{a}{b}$. En le remplaçant par sa valeur, qu'il appelle τ , il fait disparaître la constante a qui n'a qu'une existence mathématique et ne conserve que les constantes b , qu'il appelle « Rhéobase » et τ , qu'il appelle « Chronaxie » qui ont une signification expérimentale.

En divisant en effet la formule de Weiss :

$$i = \frac{a}{t} + b,$$

1. On trouvera les travaux de L. LAPIQUE et de MME LAPIQUE dans les publications suivantes : *Journal de Physiologie et Pathologie générales*; *C. R. de l'Acad. des Sciences*; *C. R. de la Soc. de Biologie*, de 1906 à 1923, et en particulier dans : L. LAPIQUE. *Revue générale des Sciences pures et appliquées*, 15 février 1910 ; — MME LAPIQUE. *Thèse de la Fac. des Sciences de Paris*, 1905.

2. CLUZET désigne le rapport $\frac{a}{b}$ sous le nom de « Caractéristique d'excitabilité ». GUILLEMINOT (*Électricité Médicale*, 1922, p. 357) l'appelle « rapport de Weiss ». Les termes *chronaxie*, *caractéristique d'excitabilité* et *rapport de Weiss* sont donc synonymes.

par b , elle devient :

$$\frac{i}{b} = \frac{a}{bt} + \frac{b}{b}.$$

d'où l'on tire :

$$i = b \left(\frac{a}{bt} + 1 \right).$$

En remplaçant $\frac{a}{b}$ par sa valeur τ , la formule prend la forme définitive que L. Lapicque lui a donnée : $i = b \left(\frac{\tau}{t} + 1 \right)$. Il est facile alors de voir que $i = 2b$ quand $t = \tau$.

Mais la loi de Weiss, comme la loi d'Hoorweg, ne sont que des lois approchées.

L. Lapicque et Mme Lapicque ont montré que la droite des quantités dans les deux lois, n'est une droite qu'entre deux limites. Pour les temps très longs, ou les très grandes capacités, la droite se continue par une courbe qui se relève et est concave vers l'axe des ordonnées. Au contraire, pour les temps très courts, les points expérimentaux forment une courbe qui raccorde la droite à l'origine des axes et est concave vers l'axe des abscisses.

Ces auteurs ont donc proposé de substituer aux caractéristiques d'excitabilité tirées de la loi d'excitation sujette à discussions, une définition empirique de ces caractéristiques.

Ils considèrent que l'excitabilité est caractérisée par deux paramètres, la « Rhéobase » et la « Chronaxie », dont on peut donner comme ils l'ont fait une définition empirique :

La « Rhéobase ou Seuil fondamental » est l'intensité nécessaire pour obtenir le seuil de la contraction avec une fermeture prolongée de courant continu (seuil galvanique classique).

La « Chronaxie » est le temps de passage du courant nécessaire pour obtenir le seuil de la contraction avec une intensité double de la Rhéobase.

Cette manière empirique de considérer les choses, a le grand avantage de donner une caractéristique de l'excitabilité qui reste vraie, quelles que soient les fluctuations que puisse subir la loi d'excitation.

L'intérêt des discussions sur la loi d'excitation est donc purement théorique et, pratiquement, la définition empirique de la Rhéobase et de la Chronaxie soustrait les caractéristiques de l'excitabilité à ces discussions.

Ces deux paramètres de l'excitabilité sont de valeur inégale. Tandis que la Rhéobase varie avec les conditions expérimentales (surface des électrodes, pression des électrodes, distance des électrodes, etc...), la Chronaxie en est largement indépendante et ne varie qu'avec les conditions qui font varier l'excitabilité, la température par exemple.

Pratiquement, pour connaître la chronaxie, il suffit donc de chercher le seuil de fermeture galvanique avec une clef, puis de doubler le voltage liminaire et de chercher le temps de passage du courant nécessaire pour obtenir le seuil avec le voltage double de celui de la Rhéobase.

Pour mesurer le temps de passage du courant on peut employer un appareil donnant des ondes rectangulaires de durées connues, comme le pistolet de Weiss. Mais on peut aussi employer les décharges de condensateurs. L. Lapique, en effet, a fait remarquer qu'en introduisant le produit RC de la capacité C par la résistance R du circuit dans la formule, comme l'avait fait Hoorweg, on y introduit la notion de durée et on la rend ainsi homologue à la loi de Weiss.

Si donc on connaît la résistance R du circuit, on peut se servir des condensateurs pour mesurer la chronaxie.

La difficulté était de connaître la résistance d'un circuit dont fait partie un tissu vivant. L. Lapique a tourné élégamment la difficulté en constituant un circuit tel que sa résistance soit indépendante de celle du tissu en expérience. Il réalise un tel circuit en mettant une résistance de $10\,000\ \omega$ en série avec le tissu, une résistance de $3\,000\ \omega$ en dérivation sur ce système et une résistance de $7\,000\ \omega$ en série avant la bifurcation du circuit. La résistance de $3\,000\ \omega$ étant très petite par rapport à la somme de la résistance du tissu et de la résistance en série avec lui, la portion bifurquée du circuit a sensiblement une résistance réduite égale à $3\,000\ \omega$. La résistance totale du circuit est donc sensiblement de $3\,000\ \omega + 7\,000\ \omega = 10\,000\ \omega$ à $1/10$ près. Il est dès lors facile de connaître le produit RC .

Pour mesurer la chronaxie avec les condensateurs, il suffit donc, après avoir cherché le voltage rhéobasique avec une fermeture brusque de courant continu, de chercher la capacité lininaire avec le double du voltage rhéobasique¹. Cette capacité correspond à la chronaxie que Lapique désigne dans les formules par la lettre τ . Je propose donc de l'appeler $C\tau$. Connaissant R et $C\tau$ on peut donc poser $\tau = RC\tau \times K$, K étant une constante.

L. Lapique a déterminé expérimentalement par la comparaison des condensateurs avec le rhéotome balistique de Weiss (pistolet de Weiss), ou d'autres appareils donnant aussi des ondes rectangulaires, la valeur de K et il l'a trouvée égale à $0,37$. La chronaxie a donc pour valeur le produit de la résistance par la capacité chronaxique et par $0,37$:

$$\tau = RC\tau \times 0,37.$$

1. CLUZET, se basant sur le fait que, le plus souvent, la durée lininaire égale à $\frac{a}{b}$ est celle qui donne le seuil avec le minimum d'énergie, cherche la capacité lininaire avec le minimum d'énergie. Outre qu'on ne trouve pas de minimum d'énergie pour les tissus de grande chronaxie, la détermination de ce

Cluzet¹, de son côté, a traité la même question mathématiquement. En appliquant la loi de Weiss aux décharges de condensateurs, il trouve par le calcul que K a une valeur de 0,31, très voisine de la valeur expérimentale de L. Lapicque. Mais, à la suite de considérations théoriques, qui ont donné lieu à de longues discussions dans lesquelles je ne puis entrer, Cluzet, considérant que la caractéristique d'excitabilité est la durée *utile*, de la décharge, établit une formule d'où il tire $K = 1,26$, valeur très différente de la valeur trouvée expérimentalement par Lapicque.

Pour ma part, je préfère dans des questions biologiques les résultats expérimentaux aux résultats du calcul.

C'est donc la formule de L. Lapicque que j'adopte dans ce travail. Il est évident que ce chiffre de 0,37 n'a pas la prétention d'une valeur absolue, mais d'une approximation en rapport avec l'approximation même des mesures dans ce genre d'expériences.

En étudiant la chronaxie dans la série animale, soit avec les condensateurs, soit avec les ondes rectangulaires obtenues en coupant le courant continu avec divers rhéotomes, L. Lapicque a donné une série de lois de physiologie générale qu'on peut résumer ainsi :

1. La chronaxie caractérise l'excitabilité et ne varie pas avec les conditions expérimentales, tant que celles-ci n'agissent pas sur l'excitabilité même.

2. La chronaxie classe les muscles des animaux comme les classe la durée de leur contraction, mais avec beaucoup plus de précision. Voici quelques exemples choisis dans les tableaux de L. Lapicque, pour montrer l'étendue de la variation de la chronaxie dans la série animale :

MUSCLES	CHRONAXIE	DURÉE
	EN 1/1000 DE SECONDE	DE CONTRACTION EN SECONDE
Gastro-cnémien de grenouille.	0σ,3	0",15 à 0",20
— de crapaud.	0σ,9	
Pied de l'escargot.	4σ,8	5" à 20"
Cœur de tortue.	8σ,2	
Pince de crabe.	30σ	
Estomac de grenouille.	100σ	

Non seulement la chronaxie varie avec la durée de la contraction, mais elle varie dans le même sens que le temps perdu et en sens

minimum, quand elle est possible, est toujours délicate et quelque peu imprécise. Ce procédé est donc bien inférieur, à mon avis, à celui de L. LAPICQUE.

1. CLUZET. *Loc. cit.*

inverse du rythme du tétanos. C'est dire que la chronaxie exprime toutes les propriétés fonctionnelles du nerf et du muscle.

3. Un muscle et son nerf moteur ont la même chronaxie. C'est la loi de *l'isochronisme du nerf moteur et du muscle*.

Lorsque la chronaxie de l'un des deux organes varie seule, il y a inexcitabilité par le nerf lorsque le rapport des chronaxies du nerf et du muscle dépasse 2. C'est ce que L. Lapique et Mme Lapique ont démontré avec le curare et avec la strychnine. Ils ont vu, que le curare augmente la chronaxie du muscle sans modifier celle du nerf, et que la strychnine diminue la chronaxie du nerf sans modifier celle du muscle. L'excitation du muscle par le nerf exige, en quelque sorte, la *résonance* des deux organes. *L'isochronisme* est la condition de leur fonctionnement, qui n'est compatible qu'avec un *hétérochronisme* ou une discordance légers.

• En étendant à tout le système nerveux cette notion de *l'harmonie* des chronaxies, L. Lapique a émis une théorie générale¹ très ingénieuse, qui permet de se rendre compte des lois des réflexes et du fonctionnement de tout le système nerveux. On peut la résumer en disant que les neurones agiraient les uns sur les autres suivant le rapport de leurs chronaxies.

Ce rapide résumé des résultats de l'étude de la chronaxie en physiologie animale, qu'ont faite L. et M. Lapique, fait comprendre tout l'intérêt qu'il y avait à étudier la chronaxie de l'Homme et des animaux supérieurs.

L'électrodiagnostic n'est en somme que l'application à l'Homme sain ou malade de l'électrophysiologie, et il est profondément regrettable que, après avoir travaillé parallèlement, les électrothérapeutes et les physiologistes se soient peu à peu séparés, au point qu'ils sont arrivés à ne plus parler le même langage.

Cependant la médecine et la physiologie ne font qu'un, quand on va au fond des choses, comme l'a répété Claude Bernard, et aucune branche ne met mieux cette vérité en évidence que celle qui nous occupe. Aussi n'est-il pas étonnant que, dès les découvertes de Hoorweg et de Weiss, certains auteurs aient cherché à appliquer leurs lois à l'étude de l'Homme et à l'électrodiagnostic. De là sont nées les tentatives de Doumer² et de Cluzet³. Mais ces auteurs, opérant avec les condensateurs dans les conditions ordinaires de l'électrodiagnostic se sont heurtés à des causes d'erreur qui ne leur ont permis de

1. L. LAPIQUE. *Revue générale des Sciences pures et appliquées*, 15 février 1910.

2. DOUMER. *Annales d'Electrobiologie*, avril 1910, p. 21; mars 1911, p. 145 et avril 1911, p. 218. — H. LAUGIER, dans sa *Thèse de la Fac. de Méd. de Paris* (1913), a longuement discuté les travaux de DOUMER. Je ne referai donc pas cette discussion.

3. CLUZET. *Electrodiagnostic au moyen des décharges de condensateurs. Journal de Radiologie et Electologie*, t. 1, n° 3, mars 1914.

voir que de grosses modifications pathologiques, et leur ont masqué des phénomènes plus fins du plus haut intérêt.

La question en était là, lorsque je résolus d'attaquer le problème de la mesure de la chronaxie à travers les téguments, tant chez l'Homme que chez les animaux supérieurs. La solution de ce problème présentait le plus haut intérêt non seulement au point de vue de la pathologie humaine, mais aussi au point de vue de la physiologie et de la pathologie expérimentales : il était évident, en effet, que si on arrivait à mesurer avec précision la chronaxie sur l'animal entier et sans dénuder les nerfs et les muscles, on aurait la possibilité de faire des expériences d'évolution de longue durée.

Je n'ai pas besoin d'autre part de faire remarquer tout l'intérêt que présente pour la physiologie générale l'étude précise des véritables expériences que réalise la nature par la pathologie, et tout l'intérêt pratique que présente au point de vue du diagnostic et de la thérapeutique l'introduction en médecine d'une technique précise.

Lorsque j'eus résolu le problème technique, je fus entraîné bien plus loin que je ne me l'étais imaginé, car je me suis trouvé du premier coup, en présence de faits insoupçonnés, qui apportaient un appui remarquable aux théories générales et aux hypothèses de L. Lapicque.

A côté des faits précis que l'étude de la chronaxie chez l'homme m'a fait découvrir, j'en ai trouvé d'autres, encore inexplicables, qui suggèrent d'intéressantes expériences à faire sur les animaux : le temps m'a manqué jusqu'à présent pour les développer et je n'ai pu en faire qu'un petit nombre. J'aurai donc surtout l'Homme en vue dans ce travail.

Dans la première partie, je décrirai la technique à laquelle je me suis arrêté pour mesurer la chronaxie à travers les téguments, et les expériences sur lesquelles s'appuie cette technique.

Dans une deuxième partie j'exposerai les résultats de mes recherches sur la chronaxie de l'Homme à l'état normal.

Dans une troisième partie, je montrerai ce que m'a donné l'étude de ses variations pathologiques et expérimentales.

Enfin, dans une quatrième et dernière partie, je tenterai de synthétiser les résultats exposés dans les deuxième et troisième parties, et d'en dégager, en les rapprochant de ceux de L. et M. Lapicque, une idée générale du fonctionnement du système nerveux, tant à l'état normal qu'à l'état pathologique.

Je n'ai pas cherché à faire la bibliographie complète des travaux parus sur l'excitation électrique, ni même sur la chronaxie. Je renvoie seulement aux travaux fondamentaux et à ceux que j'ai lus spécialement à propos de mes propres recherches.

PREMIÈRE PARTIE

TECHNIQUE DE LA MESURE
DE LA CHRONAXIE
A TRAVERS LES TÉGUMENTS

PREMIÈRE PARTIE

TECHNIQUE DE LA MESURE DE LA CHRONAXIE A TRAVERS LES TÉGUMENTS

CHAPITRE I

DES CONDITIONS DE L'EXCITATION PERCUTANÉE DES NERFS ET DES MUSCLES

Lorsqu'on passe de l'excitation des nerfs et muscles mis à nu à leur excitation à travers les téguments, on se heurte immédiatement à un certain nombre de difficultés et de causes d'erreur qu'il faut étudier avant d'établir une technique de mesure de la chronaxie dans ces conditions. Cela entraîne une étude des conditions de l'excitation percutanée.

Que l'excitation électrique des nerfs et muscles à travers le revêtement cutané soit possible, on le sait depuis la découverte même de l'électricité, depuis que les expérimentateurs ont vu sur eux-mêmes les contractions produites par la décharge de la bouteille de Leyde.

Qu'on puisse localiser exactement l'excitation sur tel nerf ou te muscle que l'on veut, à travers la peau, nous le savons depuis les mémorables travaux de Duchenne de Boulogne, complétés par ceux de Erb, Remak, etc...

Mais, dans quelles conditions peut-on faire des mesures d'excitabilité exactes à travers la peau? C'est ce que l'on ignorait, et c'est ce que j'ai cherché à connaître.

I

DIFFÉRENTS MODES D'EXCITATION PERCUTANÉE

A. — Point moteur.

1^o **Exposé et critique des conceptions classiques.** — Duchenne de Boulogne a, depuis longtemps, démontré qu'on trouve sur la surface de la peau des points sur lesquels il faut mettre les électrodes qu'il appelait les « rhéophores » pour obtenir l'excitation soit des nerfs, soit des muscles. Il a ainsi décrit les *points d'élection*, — c'est le nom qu'il leur a donné¹, — de beaucoup de muscles et de nerfs de l'homme.

Plus tard, on a donné aux points d'élection le nom de *points moteurs* qu'on emploie couramment aujourd'hui. Erb², et après lui de nombreux auteurs, ont donné des tableaux de ces *points moteurs*. A peu de chose près tous les tableaux sont superposables. Ils diffèrent surtout par le nombre des muscles ou des nerfs étudiés.

Par une confusion regrettable, on trouve dans les traités classiques d'électrothérapie, y compris celui d'Erb, le nom de « point moteur » appliqué indifféremment aux points d'élection des nerfs et aux points d'élection des muscles.

A mon avis, seuls les points d'élection des muscles méritent le nom de « points moteurs » : sur les muscles, en effet, on trouve bien une surface très petite où l'excitation est obtenue avec une intensité beaucoup plus faible qu'en aucun autre point de la surface du muscle ; il y a donc bien un « point moteur ». Mais sur les nerfs il n'y a pas de maximum d'excitabilité localisée. Le nerf est excitable sur tout son trajet, partout où il est assez voisin de la peau, et c'est si vrai que, pour la plupart des nerfs, la zone d'excitation est représentée dans les tableaux non pas par un *point*, mais par une *ligne*.

Qu'excite-t-on en ces zones où il faut placer l'électrode pour exciter le mieux le nerf ou le muscle considéré ?

Quand il s'agit du nerf, aucune discussion n'est possible : c'est l'excitation du nerf que l'on fait. Quand il s'agit du muscle, la question se pose de savoir ce que c'est que le point moteur, ce qu'on excite au point moteur.

Duchenne de Boulogne (1847-1850) pensait que l'excitation produite au point d'élection était une *excitation musculaire*, une excitation directe du muscle.

1. DUCHENNE DE BOULOGNE. *De l'électrisation localisée*, p. 76 et suivantes de la 2^e édition, 1861.

2. ERB. *Traité d'Électrothérapie*, traduction française de AD. RUEFF, 1884, pp. 262 à 272.

Remak (1855-1858) au contraire, confirmé par Ziemssen¹, pensait que le point moteur est le point où le nerf pénètre dans le muscle, et que, par conséquent, en ce point on excite le nerf, on fait une excitation *indirecte* du muscle. Ils en tirent la conclusion que l'excitation directe n'existe pas et contestent même jusqu'à l'excitabilité propre de la fibre musculaire.

De ces divergences sont nées de longues discussions entre Duchenne de Boulogne et Remak.

Duchenne de Boulogne admet bien que, pour *certain*s muscles, le point d'élection est bien le point d'*immersion* du nerf dans le muscle, mais il refuse de l'admettre pour tous, et surtout pour les faisceaux isolés de muscles complexes, comme le deltoïde ou l'extenseur commun des doigts², et il interprète explicitement le point d'élection dans ces cas comme le point où les fibres musculaires sont assez superficielles pour être excitées directement. Remak, au contraire, soutient que dans tous les cas, le point d'élection est un point d'excitation nerveuse. Erb se rallie entièrement à la manière de voir de Remak et de Ziemssen. Depuis lors, malgré cela, la question, on peut dire, est restée indécise.

Si actuellement, la plupart des électrophysiologistes et des électrothérapeutes tendent à penser que Remak a raison, cependant, à la lecture des traités beaucoup plus récents que celui d'Erb, on sent que le doute règne.

Zimmern³ dit : « les **muscles** sont excitable sur toute leur portion charnue, mais leur excitabilité est toujours plus prononcée dans une zone limitée qui, *le plus souvent*⁴, correspond à la fois à leur partie la plus superficielle et au point où le **filet nerveux** qui les anime pénètre dans leur épaisseur ».

Castex⁵ dit de même que le point moteur est très *généralement* le point d'immersion du nerf dans le muscle.

Guilleminot dit : « *Les avis sont partagés sur le rôle que jouent les filets nerveux terminaux dans l'excitation du muscle à son point d'élection, c'est-à-dire au point où le rameau nerveux aborde le muscle et le pénètre.* M. Doumer, et avec lui un grand nombre d'électriciens pensent que lorsqu'on excite électriquement un nerf à son point d'élection, la réaction musculaire est due à l'excitation du filet nerveux qui l'innerve... *Contra* : Huet⁶. » Personne n'affirme sans réserve ce que

1. REMAK et ZIEMSEN, cités par ERB. *Traité d'Électrothérapie*, p. 9 de la traduction de Rueff.

2. DUCHENNE DE BOULOGNE. *Loc. cit.*, p. 77.

3. ZIMMERN. *Éléments d'électrothérapie clinique*, 1906, p. 61.

4. J'ai mis en italique les mots « le plus souvent », pour faire ressortir le doute.

5. CASTEX. *Précis d'Électricité médicale*, 2^e édition, 1907, p. 386.

6. H. GUILLEMINOT. *Électricité médicale*, 3^e édition, 1922, § 394, p. 359. — Comme pour la citation de ZIMMERN, j'ai mis en italique ce qui montre le doute dans les citations de GUILLEMINOT.

Remak affirmait. La meilleure preuve en est qu'on parle couramment encore de « descente ou de déplacement du point moteur » dans la dégénérescence, lorsque l'on trouve le muscle plus excitable (avec le courant galvanique) par l'excitation dite « longitudinale » que par l'excitation au point moteur. C'est Wertheim Salomonson qui a créé l'expression de « déplacement du point moteur » pour exprimer ce fait bien connu. Si, dans l'esprit des auteurs¹ qui, à la suite de Wertheim Salomonson emploient cette expression de « descente ou déplacement du point moteur », le point moteur était sans contestation, le point de pénétration du nerf dans le muscle, jamais ils ne l'auraient employée.

On ne conçoit pas en effet, c'est presque inutile à dire, que la dégénérescence puisse modifier un rapport anatomique. De deux choses l'une, ou le point moteur est bien le point de pénétration du nerf, ou c'est un point d'excitabilité optima du muscle indépendant du nerf. Dans le premier cas, il ne peut pas se déplacer; dans le deuxième cas on conçoit que la pathologie puisse modifier le siège de l'excitabilité optima du muscle.

Mais, ce qui se comprend moins, c'est comment à l'état normal, un paquet de fibres musculaires puisse être plus excitable en un point qu'en un autre. Ces considérations montrent donc que la question du point moteur n'était pas élucidée.

2^o Recherches personnelles. — C'est pourquoi j'ai fait quelques expériences pour déterminer ce que c'est que le point moteur que je considérais *a priori* comme étant le point de pénétration du nerf, ainsi que Remak le soutenait.

Remak et Ziemssen pensaient démontrer leur opinion en repérant le point moteur d'un muscle sur un sujet normal, et en se reportant ensuite à un cadavre qu'ils disséquaient.

Ils trouvaient ainsi une concordance satisfaisante entre le point moteur marqué sur la peau et la projection sur la peau du point de pénétration du nerf dans le muscle.

J'ai cherché à substituer à la comparaison de deux sujets humains l'un mort et l'autre vivant, une expérience directe sur l'animal.

Chez les animaux on trouve des points moteurs comme chez

1. Entre tous les traités qui emploient cette expression, citons ce que dit ZIMMERN. *Loc. cit.*, p. 70 : « Pourtant, si le point moteur est bien en effet le point d'excitabilité maxima du muscle, ce point, pendant toute l'évolution de la D R, n'occupe plus la même situation qu'à l'état normal. Pendant l'évolution de la D R, le siège du maximum d'excitabilité de chaque muscle se trouve déplacé : il y a déplacement du point moteur ». On retrouve la même description dans la plupart des traités d'électrothérapie, même les plus modernes.

Citons aussi ce que dit GUILLEMINOT. *Loc. cit.*, p. 423 : « § 488. — Réaction longitudinale ou déplacement du point moteur. — A mesure que la dégénérescence s'accroît, le point d'élection pour exciter le muscle se déplace et gagne l'extrémité excentrique par rapport au tronc sur lequel est placée l'électrode indifférente. »

l'homme. Avec H. Laugier, dans un travail resté inédit, j'ai établi la topographie des principaux points moteurs du chien. G. Banu a fait le même travail sur le lapin et l'a exposé dans sa thèse¹. La topographie des points moteurs du chien et du lapin ne diffère d'ailleurs que très peu.

J'ai donc répété à plusieurs reprises l'expérience suivante :

Sur un lapin normal, on détermine avec soin le point moteur d'un muscle à la surface de la peau préalablement dénudée de ses poils. Cette dénudation doit être faite soigneusement pour éviter les exco-riations qui pourraient modifier la distribution du courant en certains points. Si on ne dispose pas d'un excellent rasoir, le mieux est d'arracher les poils : cela donne une peau d'une netteté parfaite, à condition de ne pas accrocher la peau avec les ongles, pendant cette petite opération. J'emploie la méthode dite « monopolaire » : une électrode positive assez grande est placée sur la région thoraco-abdominale de l'animal, pour éviter autant que possible le passage du courant par la moelle et les racines rachidiennes; l'électrode négative est une fine électrode, comme celle de d'Arsonval par exemple; c'est elle qui sert à déterminer le point moteur.

On peut faire l'expérience soit avec des décharges de condensateurs, soit avec une onde induite, soit avec la fermeture du courant continu.

Il vaut mieux faire l'expérience sans anesthésie : cette condition facilite la recherche du paquet vasculo-nerveux dans la deuxième partie de l'expérience parce que les vaisseaux sont plus visibles que sous l'anesthésie et que les réactions de l'animal avertissent quand on approche des nerfs. Les muscles de la cuisse, par leur volume, se prêtent mieux à l'expérience que ceux de n'importe quelle autre région.

Pour déterminer la situation du point moteur à la surface de la peau, il faut prendre de grandes précautions pour ne pas la faire glisser sur les plans profonds, surtout chez le lapin, dont la peau est particulièrement mobile. Même chez l'animal non anesthésié; on y arrive en procédant de la manière suivante : l'animal étant fixé sur le dos dans la gouttière, et les trois pattes non en expérience bien attachées, on tourne légèrement le train postérieur sur le côté droit par exemple, si on opère sur la patte postérieure gauche, et on laisse bien aller la patte à elle-même. Pour chercher le point moteur, on pose l'électrode légèrement à la surface de la peau *sans toucher autrement* à la patte, et on la déplace en l'enlevant complètement et la reposant légèrement : de poche en poche, on détermine ainsi la situation du point optimum, sans faire glisser du tout la peau.

1. G. BANU. Recherches physiologiques sur le développement musculaire chez l'homme et l'animal. *Thèse de la Fac. des Sciences de Paris*, 1922, pp. 51 à 55.

Lorsqu'on a déterminé la situation du point moteur à la surface de la peau, on le marque d'un point à l'encre (voir fig. 3, I). On incise alors en passant par le centre de cette zone appelée « point moteur » et on recommence la même opération à la surface du muscle dénudé. Il est déjà facile de contrôler que les marques du point moteur sur la peau et à la surface du muscle se superposent exactement (voir fig. 3, II). On s'en assure en les repérant avec un compas et en mesurant la distance qui les sépare d'un repère osseux fixe. A la cuisse, pour les muscles de la face antéro-externe, je mesure la distance de la marque du point moteur au bord inférieur du condyle fémoral externe.

On incise alors les fibres musculaires en passant par le point marqué à l'encre à la surface du muscle. On explore l'excitabilité dans la petite plaie musculaire et on continue à inciser en passant toujours par le point d'excitabilité maxima. On est ainsi conduit, en se guidant sur l'excitation électrique, jusqu'à la face profonde du muscle.

On tombe, à la face profonde du muscle, sur le point de pénétration du nerf dans le muscle : il est facile d'en mesurer la distance au même repère osseux. A 1 ou 2 millimètres près, on la trouve égale à celle des points marqués sur la peau et à la surface du muscle; la petite différence tient à ce que l'épaisseur du muscle n'est pas la même dans les deux mesures (voir fig. 3).

Le fait se vérifie aussi bien sur les muscles qui sont abordés par leur nerf à leur face profonde, ce qui est la majorité, que sur ceux que le nerf aborde plus superficiellement.

Le point moteur est donc bien la projection sur la surface de la peau, du point de pénétration du nerf dans le muscle.

Mais on peut préciser davantage.

Le nerf, ou plutôt le paquet vasculo-nerveux, longe en général la face profonde du muscle sur l'un de ses bords. Le nerf, dans sa portion extra-musculaire suit donc une direction parallèle à celle des fibres musculaires. A sa terminaison ou plutôt à son entrée dans le muscle, le paquet vasculo-nerveux prend une direction perpendiculaire à celle des fibres musculaires. Celles-ci s'écartent en formant une boutonnière bordée par deux lèvres, une lèvre supérieure et une lèvre inférieure. En écartant ces deux lèvres, on voit que, après avoir cheminé quelques millimètres dans cette sorte de boutonnière ou de bouche, le paquet vasculo-nerveux s'éparpille en ses branches qui se perdent dans l'intérieur du muscle.

Si on explore l'excitabilité le long du nerf, sur le muscle autour du point de pénétration du nerf, et sur le paquet vasculo-nerveux éparpillé, on voit que c'est au point précis d'épanouissement du nerf que l'excitation s'obtient avec la plus faible intensité, et son repérage montre que c'est ce point qui coïncide le mieux avec le repérage des marques du point moteur sur la peau et sur la surface du muscle.

Souvent on trouve à la surface de la peau deux points moteurs. On constate alors qu'en s'épanouissant, le nerf donne une branche, qui en continue la direction. En disséquant cette branche dans le muscle, on arrive à son épanouissement et on constate qu'il y a un deuxième maximum d'excitabilité. La distance qui sépare les deux épanouissements est égale à celle qui sépare les deux points moteurs marqués à la surface de la peau. On constate aussi que l'excitation du premier épanouissement donne des contractions dans tout le muscle, tandis que l'excitation du deuxième ne donne de contractions que dans une partie du muscle. Au premier point que nous appellerons point moteur général, on excite l'ensemble des fibres nerveuses du muscle; au deuxième point que j'appellerai point moteur partiel, on n'excite qu'une partie du muscle. Il est évident que certains muscles n'ont que des points moteurs partiels, lorsqu'il y a division du nerf avant l'entrée dans le muscle. Si à la surface de la peau, on trouve rarement plus de deux points moteurs, on en trouve souvent en plus grand nombre en disséquant les nerfs à l'intérieur du muscle. A chaque épanouissement d'une branche on trouve un maximum d'excitabilité : on constate, chaque fois, qu'un courant inefficace sur le filet nerveux devient efficace sur le point d'épanouissement de la branche nerveuse (voir fig. 3, III et V).

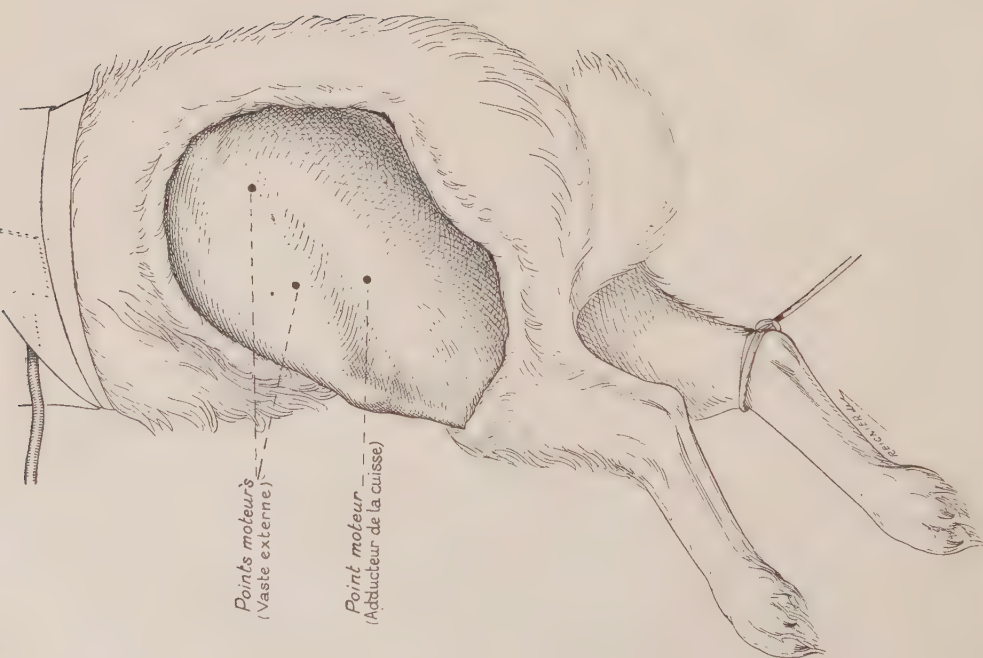
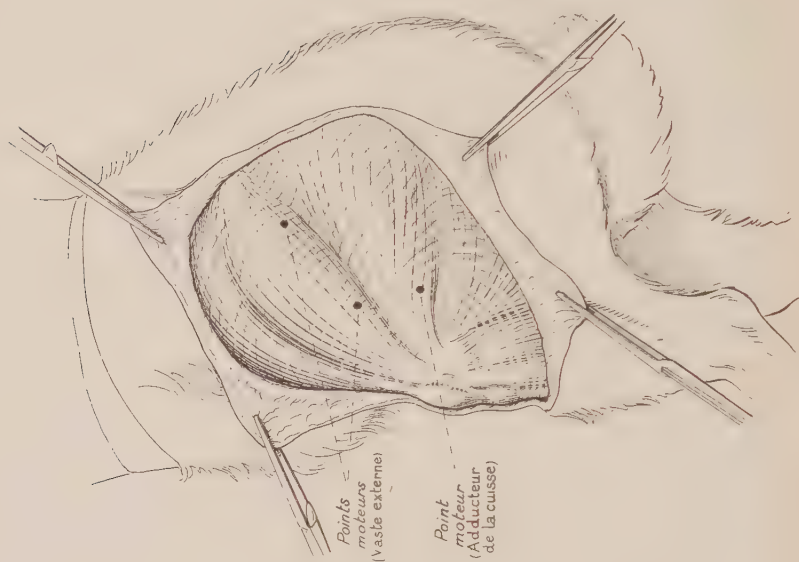
Pour fixer ces faits, j'ai fait dessiner les phases successives de deux de ces expériences, par M. Reignier. Ces dessins que reproduit la figure 3, ont été exécutés au cours même des expériences auxquelles ce dessinateur était présent. Je le remercie de la fidèle représentation qu'il a faite de ce qu'il a vu avec moi. Pour simplifier, nous avons porté sur le même dessin les points moteurs des muscles étudiés dans les deux expériences.

Voici le protocole de ces expériences.

I. *Expérience du 5 mars 1923.* — Lapin non anesthésié. Vaste externe de la cuisse gauche. Méthode monopolaire. Électrodes impolarisables (Ag et AgCl). L'électrode indifférente est une petite plaque d'environ 2,5/3 cm. montée et garnie comme celles que j'emploie pour l'homme. Elle est fixée sur la paroi thoraco-abdominale par une ceinture élastique. L'électrode différenciée est l'électrode de d'Arsonval-Lapicque. On la tient à la main.

Le lapin est fixé sur le dos dans une gouttière. Trois pattes sont attachées, sauf la patte gauche. Le train postérieur a subi une rotation, grâce à laquelle il repose sur la face externe de la patte droite. La patte gauche est laissée libre. Les dessins de la figure 3 montrent bien la position de l'animal.

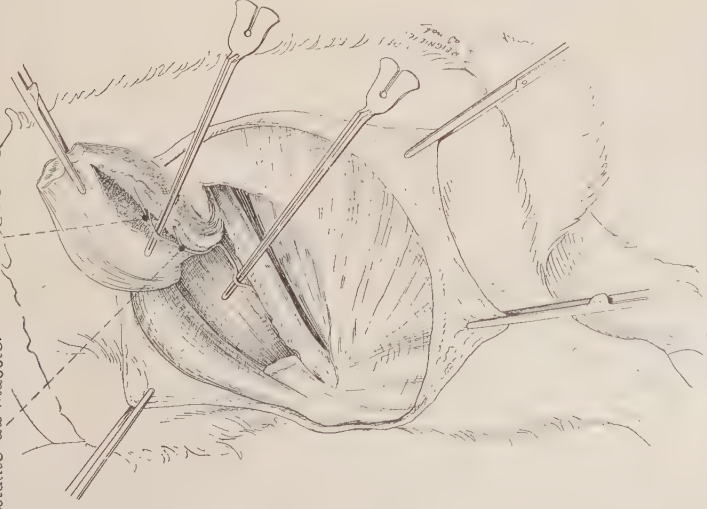
1° Recherche du point moteur du vaste externe à la surface de la peau dénudée de ses poils. — Le point moteur est recherché avec le pôle de l'onde d'ouverture d'un courant faradique tétanisant. Il est



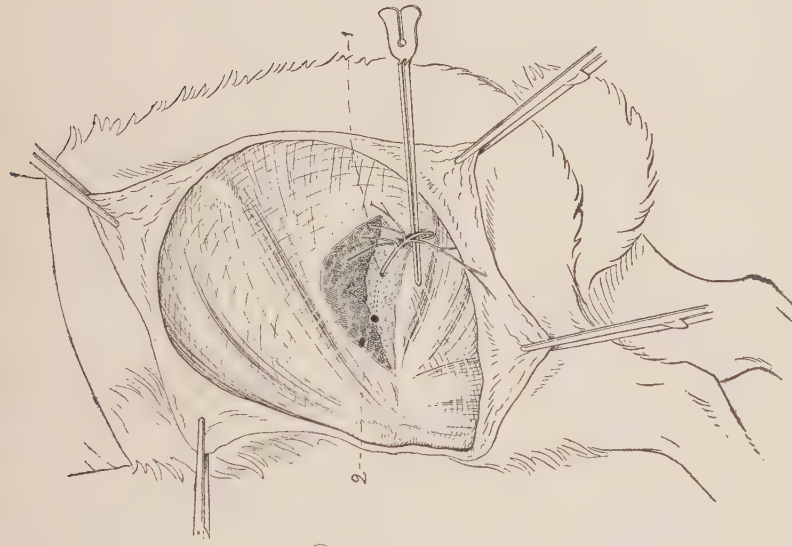
L.— Points moteurs à la surface de la peau dénudée de ses poils.

Point d'excitation de la
totalité du muscle.

Point d'excitation de la
partie postérieure du muscle.



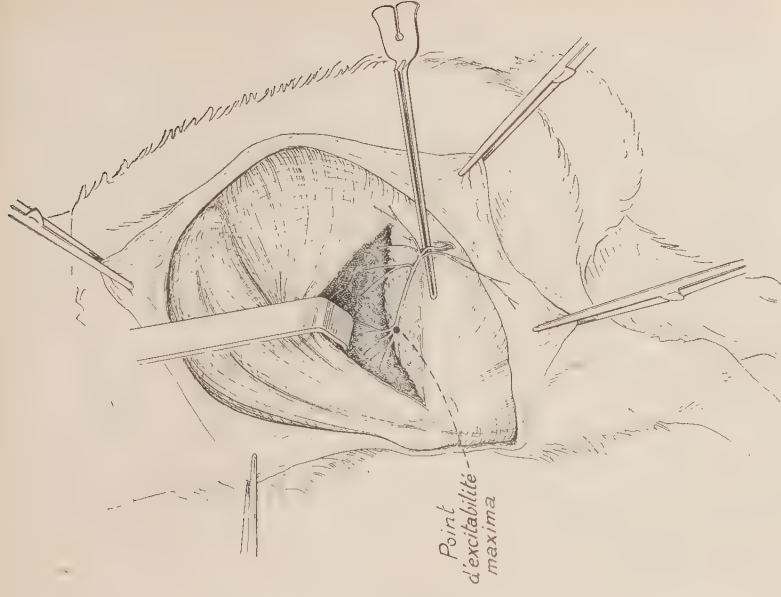
III. — Incision du vaste externe à sa face profonde.
Nerf intra-musculaire vu par la face profonde
du muscle.



IV. Incision de l'aponévrose de l'adducteur de la cuisse.
1. Point de pénétration du nerf dans le muscle. 2. Point moteur,
après l'incision de l'aponévrose. — Ligne pointillée: trajet
des nerfs sous une petite couche des fibres musculaires.

FIG. 3. — ÉTUDE DES POINTS MOTEURS.

Expériences du 5 mars et du 12 mars 1923, sur le vaste externe et l'adducteur gauches du lapin.



V. Incision des fibres musculaires de l'adducteur
de la cuisse. — Dissection des nerfs intra-muscu-
laires.

Point
d'excitabilité
maxima

contrôlé ensuite avec la fermeture négative d'un courant galvanique.

La situation du point moteur est marquée par un point à l'encre sur la peau (fig. 3, I).

Il y a coïncidence entre le point moteur cherché avec le faradique tétanisant et avec le courant galvanique.

Au cours de cette exploration, on découvre deux points moteurs, l'un proximal (plus près de la racine de la cuisse) et l'autre distal (plus près du genou).

Le point moteur proximal excité donne des contractions dans tout le muscle.

Le point moteur distal excité n'en donne que dans la moitié postérieure du muscle.

Ces deux points moteurs sont situés tout près du bord postérieur du muscle (voir fig. 3, I). Ils sont repérés par leur distance au bord inférieur du condyle fémoral externe :

DISTANCE DU POINT MOTEUR
AU BORD INFÉRIEUR DU CONDYLE FÉMORAL EXTERNE

Point proximal.	6 cm, 8
Point distal	2 cm, 9

2° Recherche des points moteurs à la surface du muscle dénudé. — Incision de la peau, en passant un peu en arrière de la ligne passant par les points moteurs. Ablation de tout le tissu conjonctif, de manière à n'avoir aucun tissu mobile à la surface du muscle dénudé. — Même technique de recherche des points moteurs; on les marque à l'encre (voir fig. 3, II). Ils sont situés près du bord postérieur du muscle. Même repérage que sur la peau ;

MÊME REPÈRE OSSEUX

Point proximal.	6 cm, 8
Point distal	3 cm

3° On dissèque les fibres musculaires longitudinalement en se guidant sur l'excitation, et on arrive très près de la face profonde. On retrouve encore les deux points d'excitabilité maxima séparés l'un de l'autre par une distance qui paraît sensiblement égale à celle qui sépare les deux points moteurs à la surface de la peau.

De vives réactions de l'animal montrent alors qu'on touche les nerfs, quand on porte un instrument au fond de la plaie et cela aussi bien à l'un qu'à l'autre de ces points.

Je sectionne alors le tendon du vaste externe et je relève le muscle (voir fig. 3, III) : je découvre le paquet vasculo-nerveux qui chemine entre le muscle et celui qui est au-dessous près du bord postérieur du muscle. Je retrouve alors, sur la face profonde du muscle, deux points d'excitabilité maxima.

En incisant le muscle je trouve un premier point d'épanouissement

dont l'excitation provoque des contractions dans la totalité du muscle. Mais je vois une branche nerveuse se continuer dans le muscle. En poursuivant la dissection, aidé de l'excitation électrique, je découvre cette branche nerveuse, et j'arrive sur son point d'épanouissement, dont l'excitation ne donne de contractions que dans la partie postérieure du muscle.

Je constate que sur le tronc même des filets nerveux, l'excitabilité est moindre que sur les deux points d'épanouissement (voir fig. 3, III).

En repérant la distance du point d'épanouissement général des nerfs au bord inférieur du condyle fémoral externe, on la trouve de 7 cm. au lieu de 6 cm. 8 qu'on avait trouvé sur la peau.

C'est donc bien le point d'épanouissement du nerf qui correspond, dans la profondeur au point moteur repéré à la surface du muscle et de la peau; comme c'est lui d'autre part qui présente l'excitabilité maxima, on ne peut attribuer les contractions produites par l'excitation du point moteur à la surface du muscle ou de la peau qu'à l'excitation de ce point d'épanouissement de la branche nerveuse sous-jacente.

II. *Expérience du 12 mars 1923.* — Lapin non anesthésié. Adducteur de la cuisse gauche. Même préparation de l'expérience que ci-dessus. Mêmes conditions expérimentales, même technique de détermination et de repérage du point moteur.

1° Détermination des points moteurs sur la peau, puis sur le muscle dénudé. — Les deux points se superposent. Ils sont situés très près du bord du muscle (voir la fig. 3, II et IV). Repérage par leur distance au bord inférieur du condyle fémoral.

DISTANCE DU POINT MOTEUR

Sur la peau.	2 cm, 8
Sur le muscle découvert . . .	2 cm, 8

2° Sur ce muscle le nerf longe le bord postérieur. Il suffit d'inciser l'aponévrose pour le découvrir le long du bord du muscle. Mais alors on est surpris de voir le nerf perforer le muscle à 3 cm 9 du condyle fémoral, au lieu de 2 cm 8 à 3 cm (voir fig. 3-IV) que faisait attendre le repérage du point moteur à la surface de la peau et sur le muscle découvert, mais encore pourvu de son aponévrose. Je fais alors des excitations sur ce nerf à son entrée dans le muscle, et je constate qu'il faut arriver à une intensité assez forte pour obtenir des contractions. En déplaçant l'électrode, en descendant vers le genou, on voit l'excitabilité augmenter pour arriver à un maximum lorsque l'électrode se trouve à la même distance du condyle fémoral que le point moteur marqué sur la surface du muscle encore recouvert de son aponévrose.

L'électrode trace ainsi une ligne qui est représentée en pointillé sur le dessin IV de la fig. 3. De part et d'autre de cette ligne, l'exci-

tabilité est moindre que sur la ligne même. Elle paraît donc tracer le trajet du nerf. J'incise alors le muscle, et, à une profondeur très petite je découvre le nerf qui suit exactement le trajet de la ligne que la recherche de l'excitabilité traçait à la surface du muscle. En le disséquant dans le muscle on découvre le point où le nerf s'épanouit. Ce point, repéré, se trouve exactement à 3 cm du condyle fémoral, c'est-à-dire en coïncidence très satisfaisante avec le repérage du point moteur à la surface de la peau.

Je constate, comme sur le nerf du vaste externe, que ce point d'épanouissement est le point d'excitabilité maxima.

Cette expérience, sur un muscle dont le nerf est facilement visible et se divise dans le muscle après un trajet d'un centimètre à 1 cm 2 entre les fibres musculaires, démontre bien que le point moteur n'est pas la projection sur la peau du point de pénétration du nerf dans le muscle, mais le point d'épanouissement du nerf à l'intérieur du muscle.

Quant aux filets nerveux qui se détachent du nerf au moment où il pénètre entre les fibres musculaires, comme le représente le dessin V de la fig. 3, l'excitation électrique démontre que ce sont des filets purement sensitifs qui se perdent à la surface du muscle. Leur excitation ne provoque aucune contraction musculaire, mais une réaction et un cri de l'animal qui ne laissent aucun doute sur la nature sensitive de ces filets nerveux.

La démonstration de la superposition des points moteurs et des points d'épanouissement des nerfs à l'intérieur du muscle, ressort nettement du tableau suivant, qui résume ces deux expériences :

Distance de l'extrémité inférieure du condyle fémoral externe à chacun des points repérés.

	VASTE EXTERNE			ADDUCTEUR
	POINT MOTEUR PROXIMAL		POINT MOTEUR DISTAL	
Point moteur à la surface de la peau	6 cm,8		2 cm,9	2 cm,8
Point moteur à la surface du muscle découvert.	6 cm,8	Recouvert de son aponévrose . .	3 cm	
		Après incision de l'aponévrose.		3 cm
Point d'excitabilité maxima situé à l'épanouissement du nerf à l'intérieur du muscle	7 cm			3 cm
Point de pénétration du nerf dans le muscle	Non mesurée exactement			3 cm,9
	mais nettement différente de 6 ^{cm} ,8 et 7 ^{cm} . .			

Ces expériences, il me semble, établissent péremptoirement que le point moteur est la projection sur la surface de la peau du point d'épanouissement des filets nerveux, situé dans l'épaisseur du muscle, à une distance du point de pénétration du nerf dans le muscle variable avec les muscles.

Elles font voir que, sur un muscle normal, au moins au seuil, on n'excite que les nerfs. L'expérience montre que le point moteur ainsi défini est aussi chez l'Homme le point où l'on met en évidence la *sensibilité électro-musculaire*.

Duchenne de Boulogne a décrit sous ce nom les phénomènes sensitifs que provoque le passage du courant à travers le muscle.

En effet, lorsqu'on explore soit avec des fermetures et ouvertures de courant continu, soit avec des chocs d'induction, ou des décharges de condensateurs, la surface de la peau recouvrant un muscle chez un sujet normal, le sujet éprouve une sensation très spéciale au moment où l'électrode arrive sur le point moteur. Cette sensation fait défaut lorsque l'électrode n'est pas exactement placée au point moteur, à moins d'employer une intensité plus grande. J'ai fait l'expérience à maintes reprises sur moi-même, sur des collègues de laboratoire, sur des sujets s'analysant bien : tous ont décrit de la même manière ce qu'ils ressentaient. Lorsque l'électrode n'est pas au point moteur, le sujet éprouve une sensation de picotement superficiel sous l'électrode et il localise la sensation dans la peau. Au contraire, lorsque l'électrode est placée exactement sur le point moteur, le sujet distingue nettement deux sensations : l'une est *superficielle* et semblable à celle qu'il éprouve en n'importe quel point de la surface cutanée ; l'autre est *profonde* et consiste en une sensation très spéciale, qui devient douloureuse quand le courant est assez fort, et que le sujet localise très nettement dans la profondeur, dans le muscle. Le phénomène est si net, qu'on peut savoir si l'électrode est placée ou non au point moteur simplement en interrogeant le sujet sur ce qu'il ressent.

Dans certains états pathologiques, le passage du courant par le point moteur détermine une douleur intolérable que le sujet n'éprouve pas quand on place l'électrode en dehors du point moteur.

L'expérience que je viens de décrire permet d'interpréter d'une façon précise le phénomène : la sensation profonde perçue lorsque l'électrode est placée au point moteur, traduit l'excitation des filets nerveux sensitifs musculaires, comme la contraction traduit l'excitation des filets nerveux moteurs, les deux ordres de nerfs faisant partie du paquet vasculo-nerveux.

3° Conclusions. — A la suite de ces expériences, je n'hésite pas à conclure que, à l'état normal, l'excitation au point moteur d'un

muscle est une excitation nerveuse, et que Remak avait raison contre Duchenne de Boulogne.

On peut donc à travers les téguments étudier l'excitabilité des nerfs dans leur trajet ou au niveau de leur épanouissement à l'intérieur des muscles, à condition de bien placer l'électrode au point moteur du muscle ou sur le nerf.

Disons de suite que cette condition ne se réalise pas sans difficulté. Il faut une habileté opératoire qui ne s'acquiert que par une longue pratique, pour exciter avec certitude un nerf ou un point moteur, à cause de difficultés que nous verrons tout à l'heure.

B. — Excitation longitudinale.

Outre ces deux modes d'excitation par une électrode placée sur le nerf le long de son trajet, ou au point moteur du muscle, nous disposons d'un troisième mode qu'on réalise en plaçant les électrodes de manière que le muscle soit traversé par le courant dans le sens de sa longueur. Il suffit pour cela de mettre l'une des électrodes au-dessus du tendon terminal, ou mieux à l'union du muscle et de son tendon; l'autre électrode peut être placée sur l'autre insertion du muscle quand on emploie la méthode bipolaire, ou en un point quelconque de la surface du corps quand on emploie la méthode monopolaire. A l'état normal, l'excitation dans ces conditions est beaucoup plus difficile à obtenir qu'en plaçant l'une des électrodes sur le trajet du nerf ou sur le point moteur. Au contraire dans les états pathologiques dans lesquels l'excitabilité indirecte est supprimée ou très diminuée, l'excitation longitudinale est beaucoup plus efficace que l'excitation du nerf ou du point moteur.

L'interprétation de l'excitation longitudinale est beaucoup plus difficile, à l'état normal tout au moins, que celle de l'excitation du point moteur.

Sur les muscles qui ont perdu l'excitabilité indirecte par le nerf, il est hors de doute que l'excitation longitudinale est une excitation directe du muscle, met en jeu l'excitabilité propre de la fibre musculaire. Si dans ce cas, l'excitation longitudinale est plus efficace qu'avec toute autre disposition des électrodes, c'est en raison de ce fait général que le courant électrique excite d'autant plus facilement un tissu, que la direction des lignes de force se rapproche davantage de la direction parallèle à celle des fibres du tissu.

A l'état normal, on a supposé aussi que l'excitation longitudinale était une excitation directe des fibres musculaires; mais aucune preuve n'a pu en être donnée et la question n'est pas résolue. Je me borne pour le moment à la poser, me réservant de la reprendre plus loin après avoir exposé d'autres expériences nécessaires à son étude.

En résumé, chez un sujet normal, on peut provoquer la contraction d'un muscle en faisant l'excitation électrique à travers la peau le long du nerf, sur le point moteur du muscle et par excitation longitudinale.

Il est vraisemblable que, à l'état normal, ces trois modes d'excitation constituent une excitation indirecte du muscle, et qu'il s'agit d'excitation nerveuse dans les trois cas. Le fait est certain pour le nerf et, d'après l'étude que je viens de faire, pour le point moteur. Il me paraît vraisemblable qu'il en est de même dans l'excitation longitudinale, comme je le développerai plus loin.

II

DISTRIBUTION DU COURANT DANS L'EXCITATION A TRAVERS LES TÉGUMENTS DIFFICULTÉS PARTICULIÈRES DUES AUX COURANTS DÉRIVÉS

Lorsqu'on place deux électrodes sur un nerf dénudé et isolé, ou aux deux extrémités d'un muscle placé dans les mêmes conditions, comme on le fait en physiologie animale, tout le courant traverse le tissu en expérience. L'intensité est la même dans la partie du circuit extérieure au tissu en expérience et dans le tissu.

Mais, lorsqu'on agit à travers le revêtement cutané, le tissu étudié est en rapport, au point de vue électrique, avec les tissus voisins qui sont conducteurs. Les différents tissus qui composent un membre ou une partie quelconque du corps doivent être considérés comme des conducteurs de résistance différente montés en dérivation les uns sur les autres. En allant d'une électrode à l'autre le courant traverse parallèlement le tissu étudié et les tissus voisins. Une fraction seulement, et très petite, de l'intensité, passe par le tissu qu'on veut exciter. Il en résulte que, pour un même effet physiologique, l'intensité totale nécessaire pour obtenir le seuil est beaucoup plus grande sur le sujet entier que sur les nerfs et muscles dénudés et isolés; cela entraîne l'obligation d'employer des voltages beaucoup plus élevés : c'est une condition dont nous serons obligés de tenir le plus grand compte dans l'établissement de notre technique.

D'autres difficultés, plus difficiles à vaincre, naissent de l'existence de ces courants dérivés.

Dans l'excitation du nerf et du muscle isolés, on est toujours sûr de ce qu'on excite puisque tout le courant passe par le seul organe étudié. Dans l'excitation percutanée au contraire, nous venons de voir que le courant passe en même temps par le tissu qu'on étudie ou par d'autres nerfs ou d'autres muscles.

L'électrode, qu'on la tienne à la main, ou qu'on la fixe par un lien, est facilement maintenue immobile par rapport à la surface de la peau. Mais celle-ci, mobile, glisse facilement sur les plans profonds, ce qui entraîne le déplacement de l'électrode par rapport aux tissus situés dans la profondeur. Le moindre déplacement de l'électrode change immédiatement la répartition du courant, et il arrive que pour de légers déplacements, de quelques millimètres seulement, de la peau et de l'électrode par rapport à la profondeur, on produit l'excitation tantôt du nerf ou du muscle étudiés, tantôt celle d'un nerf ou d'un muscle voisin.

Comme il arrive que des muscles voisins ont des actions physiologiques très semblables, il est souvent assez délicat d'être sûr que dans une série d'excitations on a bien excité toujours le même tissu au même point.

Un ou deux exemples feront bien comprendre ma pensée. A l'avant-bras, vers le bord cubital, existe un point moteur du faisceau du fléchisseur profond destiné au 4^e doigt. Mais ce point n'est distant que de quelques millimètres du point moteur du faisceau du fléchisseur superficiel destiné au même doigt. On passe sans s'en apercevoir, avec la plus grande facilité, de l'excitation de l'un de ces points moteurs à l'excitation de l'autre. Il faut à chaque instant vérifier l'action sur la phalange du 4^e doigt, en faisant tenir la 2^e phalange par un aide, pour s'assurer qu'on ne s'est pas déplacé : le fléchisseur profond seul agit sur la phalange.

Autre exemple : à la face antérieure de l'avant-bras, vers sa partie moyenne, on trouve le point moteur du faisceau du fléchisseur superficiel destiné au 5^e doigt. Mais sous ce faisceau passe le nerf médian. Un glissement insignifiant de la peau pendant l'expérience, a pour résultat que l'excitation se produit tantôt au point moteur du faisceau du fléchisseur superficiel, tantôt dans le nerf sous-jacent. Or, le nerf médian innerve les lombricaux du 2^e et du 3^e doigt. L'action de ces muscles ressemble beaucoup à celle du fléchisseur superficiel et il faut faire une attention extrême pour les distinguer l'un de l'autre. Les lombricaux, en effet, comme le fléchisseur superficiel, fléchissent la 1^{re} phalange, mais ils produisent en même temps l'extension de la 2^e et de la 3^e phalange alors que le fléchisseur superficiel fléchit la 2^e phalange et n'agit pas sur la 3^e. Au seuil, on ne voit souvent de l'action du lombrical que la flexion de la 1^{re} phalange, d'où la confusion facile.

Ces quelques exemples, qu'on pourrait multiplier, font voir que l'excitation à travers la peau exige de celui qui la pratique une connaissance approfondie de l'anatomie de l'homme ou de l'animal sur lequel il expérimente, et de la physiologie des mouvements, en même temps que l'esprit de « critique expérimentale » dont parle Claude Bernard.

C'est dire qu'il faut avoir une très grande habitude de l'expérimentation à travers les téguments pour ne pas s'exposer à des erreurs grossières, et que ce n'est pas du jour au lendemain qu'on peut pratiquer avec certitude l'excitation percutanée.

III

DU MODE D'ACTION DES ÉLECTRODES DANS L'EXCITATION PERCUTANÉE POLES VIRTUELS

MÉTHODE DITE « MONOPOLAIRE » ET MÉTHODE « BIPOLAIRE »

A. — Pôles réels et pôles virtuels.

Lorsqu'on excite un nerf ou un muscle dénudés, le contact entre l'électrode et le tissu excitable est immédiat ou, du moins, l'épaisseur du tissu conjonctif ou des gaines interposées est si petite qu'on peut considérer le contact comme direct. Depuis les travaux de Pflüger (1859), nous savons que l'excitation prend naissance au contact même de l'électrode et du tissu excitable et est en rapport avec les modifications électrotoniques qui se produisent à ce contact.

Mais, lorsque les téguments sont interposés entre les électrodes et le tissu excitable, on ne peut plus parler de *contact* entre l'électrode et ce tissu. Puisque l'excitation se produit encore dans ces conditions, il faut que les modifications électrotoniques se produisent *à distance* de l'électrode placée à la surface de la peau.

On doit donc considérer, comme l'a fait Helmholtz que, dans les tissus vivants, il se produit de véritables *électrodes physiologiques* qui sont le siège des phénomènes de *polarisation des tissus*.

Au contact des différents tissus ou des liquides et des membranes, etc... il se produit, pendant le passage du courant, des phénomènes analogues à ceux qui se passent au contact de deux solutions électrolytiques différentes, ou au contact de masses solides et des solutions électrolytiques qui les imbibent. Helmholtz a donné à ces électrodes physiologiques le nom de *pôles virtuels*.

Lorsqu'on agit à travers la peau il n'existe plus, au point de vue de l'excitation nerveuse et musculaire, que des *pôles virtuels* et il n'y a plus lieu de considérer les phénomènes qui se passent au contact des électrodes instrumentales et de la peau : ces phénomènes n'ont d'intérêt que dans l'étude de la conductibilité du corps. Il faut donc éviter d'opposer les *pôles réels*, que représenteraient les électrodes instrumentales, aux *pôles virtuels* qui se produisent dans l'intimité des tissus, comme on le fait souvent, et comme je l'ai fait moi-même.

Tous les pôles sont réels. Ils ne diffèrent que par la densité plus ou moins grande du courant à leurs niveaux et que parce que l'électrode physiologique efficace est de même signe que l'électrode instrumentale la plus proche ou de signe contraire. Il est clair que, lorsqu'on emploie, en « méthode monopolaire », les expressions défectueuses de *pôles réels* et *pôles virtuels*, le mot de « pôle réel » désigne l'électrode physiologique de grande densité sous-jacente à la petite électrode instrumentale et de même signe qu'elle, et le mot de « pôle virtuel » l'électrode physiologique de densité plus faible, de signe contraire et située plus loin de l'électrode instrumentale que la première.

Le pôle réel n'est autre chose que le « pôle différencié » de H. Cardot et H. Laugier, et le pôle virtuel que leur « pôle diffus »¹.

La considération des *pôles virtuels* a permis à Helmholtz² de mettre d'accord A. Eulenburg et Erb dans leurs expériences sur l'électrotonus chez l'homme.

Ces auteurs avaient essayé, en effet, à la même époque et indépendamment l'un de l'autre, de démontrer les phénomènes électrotoniques sur les nerfs de l'homme à travers la peau. Tandis qu'Eulenburg trouvait, conformément aux résultats de la physiologie, que l'excitabilité pour le courant faradique était augmentée autour du pôle négatif et diminuée autour du pôle positif, Erb obtenait un résultat inverse. Helmholtz, qui assistait à la communication d'Erb, expliqua immédiatement la contradiction par la situation différente des pôles virtuels dans la manière de procéder différente des deux auteurs. Il a suffi à Erb de rapprocher plus qu'il ne le faisait l'électrode excitatrice de l'électrode polarisante pour trouver des résultats conformes à ceux d'Eulenburg et à ceux de la physiologie.

Ces faits nous montrent que, pour un déplacement très léger de l'électrode instrumentale à la surface de la peau, l'électrode virtuelle, réellement active, change très facilement de signe.

La considération des *pôles virtuels* ou *électrodes physiologiques* rend compte de tout ce qu'on observe dans l'excitation percutanée, et c'est avec cette notion toujours présente à l'esprit qu'il faut étudier les résultats de l'excitation avec les deux modes d'application des électrodes qui ont reçu respectivement les noms de « méthode bipolaire » et de « méthode monopolaire ».

1. H. CARDOT. Les actions polaires dans l'excitation galvanique du nerf moteur et des muscles. *Thèse de la Fac. des Sciences de Paris*, 1912, p. 5.

2. Voyez ERB. *Loc. cit.*, pp. 83 et suivantes.

B. — Méthode bipolaire et méthode monopolaire.

On appelle « méthode bipolaire » celle qui consiste à appliquer deux électrodes aussi égales que possible sur un nerf ou sur les deux extrémités d'un muscle ou une électrode sur un nerf et l'autre sur l'extrémité du muscle, soit directement sur le nerf ou le muscle dénudés, soit à travers les téguments.

On appelle, au contraire, « méthode monopolaire » celle qui consiste à employer deux électrodes de surface très inégale et à placer la petite électrode, dite électrode *active*, sur le tissu qu'on veut exciter nerf ou muscle, et la grande électrode, dite électrode *indifférente*, en un point quelconque de la surface du corps.

On peut appliquer la méthode monopolaire aussi bien sur les nerfs et muscles dénudés qu'à travers le revêtement cutané. Elle a cependant été spécialement imaginée pour ce dernier cas et, en particulier, pour l'application à l'homme, par Brenner et Baierlacher d'une part, par Chauveau d'autre part.

Depuis les travaux de Pflüger et de von Bezold, il est admis, sans contestation, que, en « méthode bipolaire », l'excitation par la fermeture du courant continu prend naissance sous l'électrode négative, et l'excitation d'ouverture sous l'électrode positive.

Cette loi se retrouve aussi bien dans l'excitation percutanée que dans l'excitation sur les nerfs et muscles dénudés et isolés, en tenant compte des difficultés que je viens d'étudier et qui ont créé le désaccord entre Erb et Eulenburg dans l'étude de l'électrotonus chez l'homme.

La même loi est-elle applicable à la « méthode monopolaire », ou, au contraire, l'inégalité des électrodes entraînant une inégalité de densité du courant à l'entrée et à la sortie, crée-t-elle de nouvelles conditions permettant à la fois des excitations de fermeture positives et négatives et des excitations d'ouverture négatives et positives?

1° **Expériences de H. Cardot et H. Laugier.** — Cette question a été très discutée et complètement élucidée par les recherches de H. Cardot et H. Laugier¹. Ces auteurs ont montré, par des expériences très précises sur les nerfs et muscles dénudés, que l'excitation de fermeture ne prend jamais naissance qu'à l'électrode négative et l'excitation d'ouverture à l'électrode positive. La secousse de fermeture obtenue, en méthode « monopolaire » comme en méthode « bipolaire » avec la petite électrode *positive* est toujours produite par une électrode physiologique *négative* située à distance de l'électrode, et vice-versa pour la secousse d'ouverture.

1. Les recherches de H. CARDOT et H. LAUGIER sont exposées en détail dans la thèse de H. CARDOT : Les actions polaires dans l'excitation galvanique du nerf moteur et du muscle. Thèse de la Fac. des Sciences de Paris, 1912.

Ils considèrent donc qu'il y a toujours deux électrodes dans le tissu excité, l'une, *différenciée*, qui est la petite électrode et l'autre, *diffuse*, qui est le pôle virtuel situé à distance de la petite électrode. H. Cardot, a localisé très exactement l'électrode diffuse. H. Cardot et H. Laugier appellent F et O les excitations de fermeture (F) et d'ouverture (O) produites par l'électrode différenciée et F' et O' les excitations de fermeture et d'ouverture qui prennent naissance à l'électrode diffuse.

Il n'y a donc aucune différence essentielle entre la « méthode monopolaire » et la « méthode bipolaire » contrairement à l'opinion de Chauveau admise par la plupart des électrophysiologistes et des électrothérapeutes français. La méthode dite « monopolaire » est en réalité *bipolaire*. Toute la différence entre les deux méthodes consiste en ce que, dans la méthode « bipolaire » la densité du courant est la même aux deux pôles, tandis que dans la « méthode monopolaire » la densité du courant est plus grande à l'électrode différenciée qu'à l'électrode diffuse.

Dans l'excitation percutanée les deux électrodes, aussi bien l'électrode différenciée que l'électrode diffuse sont, comme je l'ai déjà fait remarquer, des électrodes physiologiques, des pôles virtuels, mais cela ne change rien aux phénomènes.

2° Expériences personnelles. — Par des expériences sur l'homme, j'ai démontré que les conclusions de H. Cardot et H. Laugier s'appliquent à l'excitation percutanée.

Ces expériences, que je ne fais que résumer ici, sont de deux ordres :

a). *Expériences sur l'inversion artificielle chez l'homme normal.* — Avec la collaboration de H. Cardot et H. Laugier, j'ai montré d'abord que le point moteur du muscle est le même pour l'électrode différenciée (petite électrode négative) que pour l'électrode diffuse (petite électrode positive)¹. Ce fait prouve que les deux électrodes sont très voisines l'une de l'autre, ce qui n'a rien de surprenant puisque, comme je l'ai montré en étudiant le point moteur, c'est au point d'épanouissement du nerf que se trouve l'optimum d'excitabilité; mais la cathode physiologique correspondant à la cathode instrumentale (*cathode différenciée*) est plus voisine de cette électrode que la cathode physiologique correspondant à l'anode instrumentale (*cathode diffuse*). Quand l'électrode est bien exactement placée au point moteur, on trouve donc toujours un seuil plus grand pour l'anode instrumentale que pour la cathode, c'est-à-dire, la formule normale : seuil NF < seuil PF ou mieux seuil NF < seuil N'F en employant une notation basée sur les expériences de H. Cardot et H. Laugier.

1. G. BOURGUIGNON, H. CARDOT et H. LAUGIER. Localisation des excitations de fermeture et inversion artificielle. *Soc. de Biologie*, 13 juillet 1912.

Lorsqu'on place la petite électrode en dehors du point moteur on trouve tantôt la formule normale et tantôt l'inverse. En voici un exemple :

Expérience du 12 juin 1912. — Seuils de l'onde d'ouverture du chariot d'induction (mesure en quantités d'électricité)¹; Biceps d'homme normal. — Grande électrode dans le dos. — Petite électrode tantôt négative et tantôt positive.

SITUATION DE LA PETITE ÉLECTRODE	SEUILS EN QUANTITÉ D'ÉLECTRICITÉ		
	PETITE ÉLECTRODE		RAPPORTS DES SEUILS $\frac{NF}{NF'}$
	NÉGATIVE	POSITIVE	
1° Point moteur	4,85	6,7	0,72
2° En dehors du point mo- teur : Face antérieure du biceps			
1/3 supérieur	13,3	16,8	0,79
1/3 inférieur	17,4	18,7	0,93
1/3 moyen	20	14,52	1,37

En dehors du point moteur, le rapport des seuils est variable et se renverse même en certains points : c'est le phénomène de *l'inversion artificielle*, bien connu des électrothérapeutes et que Huet, dans une note, interprète en disant que « cette particularité (l'inversion artificielle) paraît due à l'action des pôles virtuels² ». Tout s'explique, en effet, par la variation de la densité aux électrodes physiologiques suivant la situation de l'électrode instrumentale par rapport à la situation de la cathode physiologique réellement efficace.

b). *Expériences sur la localisation des électrodes physiologiques chez l'homme normal*³. — Dans cette série d'expériences j'ai saisi, pour ainsi dire sur le vif, la situation des électrodes physiologiques.

J'ai montré, en effet, qu'on n'obtient de secousses localisées dans le même organe avec les deux pôles que sur les gros muscles et sur les nerfs très isolés, comme le cubital excité dans le canal osseux que lui forme la gouttière olécranienne.

Partout ailleurs, sur les nerfs entourés de tissus conducteurs et

1. Voir G. BOURGUIGNON et H. LAUGIER. *Bull. de la Soc. fr. d'Electrothérapie et Radiologie*, mai 1914.

2. E. HUET. Article du *Manuel de Diagnostic*, de DEBOVE et ACHARD, 1900.

3. G. BOURGUIGNON. Localisation de l'excitation dans la méthode dite « monopolaire » chez l'homme. Pôles réels et pôles virtuels dans deux organes différents. *Soc. de Biologie*, 7 mars 1914; *Soc. de Neurologie*, 30 avril 1914 et *Journal de Radiologie et Electrologie*, t. I, n° 9, mai 1915, in « Les procédés modernes d'électrodiagnostic », pp. 518 et 519.

excitables, et sur les petits muscles, on n'obtient de secousses, avec les courants faibles, que pour la cathode à la fermeture et pour l'anode à l'ouverture; à la fermeture anodique, on obtient une excitation dans un organe voisin. Il en est de même à l'ouverture cathodique. Les pôles virtuels se forment, dans ces conditions, dans deux organes différents et, seul, le pôle virtuel cathodique produit l'excitation de fermeture et le pôle virtuel anodique, l'excitation d'ouverture. Il est évident que, si on prend des courants très forts, on obtient des secousses à la fois dans l'organe situé sous l'électrode et dans les organes voisins et même très loin de l'électrode, la densité devenant suffisante au niveau de toute une série de cathodes diffuses : ce fait permet même de se rendre compte comment se distribue le courant et où se forment toutes les électrodes physiologiques négatives, quand il s'agit de fermeture, et positives, quand il s'agit d'ouverture.

L'expérience est particulièrement saisissante sur le radial excité à son passage dans la gouttière de torsion. Les graphiques de la figure 4 montrent, mieux que toute description, la localisation des excitations. Le radial ne répond qu'à la fermeture négative et à l'ouverture positive au courant galvanique. Avec les ondes induites, soit d'ouverture, soit de fermeture, le radial ne répond que lorsque la petite électrode est négative : les ondes brèves se comportent exclusivement comme des fermetures de courant continu, ainsi que l'a déjà démontré L. Lapique.

Lorsque la petite électrode placée sur le radial est positive, l'excitation se produit à la fermeture du courant galvanique ou avec les ondes induites ou le courant téтанisant, dans le vaste externe. La secousse d'ouverture, pour la petite électrode négative, se localise de la même manière.

Voici un exemple de ces expériences :

Expérience du 27 janvier 1914. — Sujet normal. — Electrodes impolarisables. — Petite électrode sur le Radial au bras gauche. — Grande électrode dans le dos, — Courant galvanique.

a). Recherche des seuils.

SIGNE DE LA PETITE ÉLECTRODE PLACÉE SUR LE RADIAL	INTENSITÉ LIMINAIRE	SIÈGE DE LA RÉPONSE
— Fermeture.	2mA	Radial
+ Fermeture.	2mA,5	Vaste externe
+ Ouverture.	3mA	Radial
— Ouverture.	8mA,5	Vaste externe

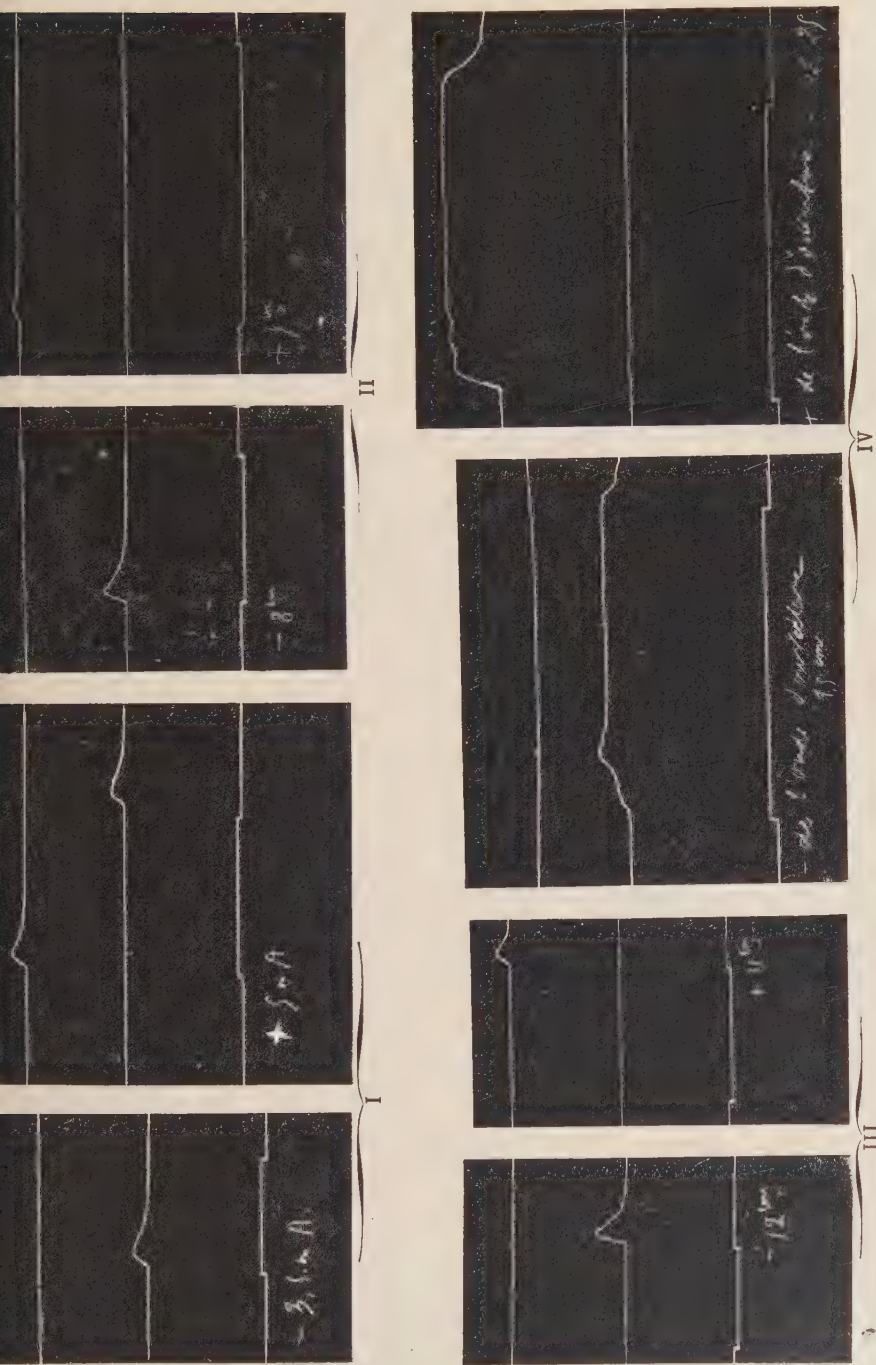


FIG. 4. — LOCALISATION DES EXCITATIONS.

Petite électrode sur le nerf radial.

1^{re} myogramme, ligne du haut : Vaste externe. — 2^e myogramme, ligne du milieu : Muscles innervés par le radial à l'avant-bras. — Ligne du bas : Signal. — I. Courant galvanique. — II. Onde induite d'ouverture. — III. Onde induite de fermeture. — IV. Courant faradique tétanisant.

b). Intensités croissantes.

INTENSITÉ	SIGNE DE LA PETITE ÉLECTRODE	VARIATION EXCITANTE	RÉPONSE
2 mA	—	Fermeture.	Seuil radial.
2 mA,5	—	Fermeture.	Radial.
	+	Fermeture.	Seuil vaste externe.
3 mA	—	Fermeture.	Radial.
	+	Fermeture. Ouverture.	Vaste externe. Seuil radial.
4 mA	—	Fermeture.	Radial + Vaste externe.
	+	Fermeture. Ouverture.	Vaste externe seul. Radial seul.
7 mA,5	—	Fermeture.	Galvanotonus Radial + Petite se- cousse dans le vaste externe.
	+	Fermeture. Ouverture.	Vaste externe seul. Radial seul.
8 mA,5	—	Fermeture.	Galvanotonus Radial + secousse vaste externe.
		Ouverture.	Vaste externe.

La démonstration est claire. J'ai fait des expériences analogues sur le médian et sur le cubital. Sur le cubital, il est remarquable de voir que, suivant le lieu où on l'excite, on peut ou on ne peut pas obtenir de secousses de fermeture avec la petite électrode positive : quand on l'excite au bras ou à l'avant-bras on n'obtient pas de secousse de fermeture avec l'électrode positive. Au contraire, dans la gouttière olécranienne, on l'obtient. Ce fait démontre bien que l'excitation par la cathode diffuse se fait ou ne se fait pas dans le même organe que par la cathode différenciée suivant que l'organe étudié est plus ou moins bien isolé. Les résultats sont les mêmes, quelle que soit la forme du courant, comme le montrent les graphiques de la fig. 4.

J'ai d'ailleurs varié l'expérience.

J'ai employé la méthode monopolaire double de Chauveau. J'utilise deux petites électrodes égales, et j'en place une sur le Radial au bras droit et l'autre sur le Radial au bras gauche, par exemple. *Jamais je n'ai pu obtenir de secousses de fermeture dans le domaine du Radial du côté de l'électrode positive.* L'expérience faite sur le médian ou sur le cubital au bras donne le même résultat. Au contraire, quand on fait l'expérience sur le cubital dans la gouttière olécranienne, on obtient une secousse de fermeture avec la petite électrode positive.

Voici deux exemples de ces expériences :

Expérience du 10 février 1914. — Méthode monopolaire double de Chauveau. — Sujet normal. — Petites électrodes égales sur le nerf médian au bras à droite et à gauche. — Courant galvanique.

INTENSITÉ	SIGNE DES ÉLECTRODES	VARIATION EXCITANTE	RÉPONSE
2 mA	Pôle — à droite . .	Fermeture.	Médian droit.
	Pôle — à gauche. .	Fermeture.	Médian gauche.
7 mA	Pôle — à droite . .	Fermeture.	Médian à droite.
	Pôle — à gauche. .	Biceps à gauche.	Biceps à gauche.
		Ouverture.	Médian à gauche.
	Pôle — à gauche. .	Fermeture.	Médian gauche.
		Biceps droit.	Biceps droit.
		Ouverture.	Médian droit.

Même avec 9 mA, il n'y a pas eu de secousse d'ouverture du côté négatif ni dans le médian, ni dans les muscles voisins.

Expérience du 19 février 1914. — Méthode monopolaire double. — Sujet normal. — Petites électrodes égales sur le cubital dans la gouttière olécranienne de chaque côté.

INTENSITÉ	SIGNE DES ÉLECTRODES	VARIATION EXCITANTE	RÉPONSE
2 mA	Pôle — à droite . .	Fermeture.	Cubital droit.
	Pôle — à gauche. .	Ouverture.	Cubital gauche.
3 mA	Pôle — à droite . .	Fermeture.	Cubital gauche.
	Pôle — à gauche. .	Ouverture.	Cubital droit,
		Fermeture.	Cubit. droit + Cubit. gauche
	Pôle — à gauche. .	Ouverture.	Cubital gauche.
5 mA	Pôle — à droite . .	Fermeture.	Cubit. gauche + Cubit. droit
	Pôle — à gauche. .	Ouverture.	Cubital droit.
		Fermeture.	Cubit. droit + Cubit. gauche
	Pôle — gauche. . .	Ouverture.	Cubit. gauche + Cubit. droit
		Fermeture.	Cubit. gauche + Cubit. droit
		Ouverture.	Cubit. droit + Cubit. gauche

Quand on répète ces expériences sur des points moteurs musculaires, on voit que les gros muscles, comme le Biceps, se comportent comme les nerfs isolés, et que les petits muscles se comportent comme les nerfs entourés d'organes conducteurs et excitables.

Ainsi, sur le point moteur du faisceau du 3^e doigt de l'extenseur commun, on obtient très facilement la flexion au lieu de l'extension avec la fermeture dite positive: pour la petite électrode positive, l'anode différenciée n'agit pas et une cathode diffuse agit à distance dans le fléchisseur.

Tous ces faits, sans qu'il soit utile d'y insister, démontrent donc que l'excitation de fermeture due, en apparence, au pôle positif, est, en réalité, due à une cathode physiologique, située à distance de l'électrode instrumentale et très souvent dans un organe voisin. Il n'y a de régulier que les secousses de fermeture négatives et les secousses

d'ouverture positives. C'est ce qui ressort des expériences suivantes :

On place la petite électrode sur un nerf ou un point moteur musculaire déterminé, puis on fait varier la place de la grande électrode. Le déplacement de la grande électrode change les muscles qui répondent à la fermeture positive et à l'ouverture négative, mais il ne change rien à ce qui répond à la fermeture positive et à l'ouverture négative, ni comme siège de la réponse, ni comme intensité liminaire. Là encore, les résultats sont les mêmes quelle que soit la forme du courant excitant : les ondes brèves se comportent toujours comme les fermetures du courant continu.

Voici un exemple de cette expérience :

Expérience du 27 janvier 1914. — Après avoir fait l'expérience sur le Radial gauche rapportée plus haut, avec la grande électrode dans le dos, la grande électrode a été portée successivement dans la paume de la main gauche, sur le dos du poignet gauche, enfin sur l'épaule gauche, sans changer de place la petite électrode.

INTENSITÉ	SIGNE DE LA PETITE ÉLECTRODE	VARIATION EXCITANTE	RÉPONSE
1° Grande électrode dans le dos. — Voir plus haut.			
2° Grande électrode dans la paume de la main gauche :			
2 mA	—	Fermeture.	Seuil Radial.
3 mA	—	Fermeture.	Seuil Radial.
	+	Fermeture.	Adducteur du pouce.
3 mA,5	—	Fermeture.	Radial + Vaste ext.
	+	Fermeture.	Muscles de la main + Vaste externe.
	—	Fermeture.	Radial + Vaste externe.
4 mA	—	Fermeture.	Muscles de la main + Vaste externe
	+	—	+ Long supinateur.
	—	Ouverture.	Radial.
	—	Fermeture.	Radial + Vaste externe.
9 mA	—	Ouverture.	Adducteur du pouce.
	—	Fermeture.	Muscles de la main + Vaste externe
	+	—	+ Long supinateur.
	—	Ouverture.	Radial.
	—	Fermeture.	Radial + Vaste externe.
12 mA,5	—	Ouverture.	Adducteur du pouce + Vaste externe.
	—	Fermeture.	Muscles de la main + Vaste externe
	+	—	+ Long supinateur.
	—	Ouverture.	Radial.
3° Grande électrode sur le dos du poignet gauche :			
2 mA	—	Fermeture.	Seuil Radial.
	+	Fermeture.	1 ^{er} interosseux dorsal.
	—	Fermeture.	Radial + Vaste externe.
	—	Ouverture.	Adducteur du pouce.
7 mA,5	—	Fermeture.	1 ^{er} interosseux dorsal + Vaste externe
	+	—	+ Long supinateur.
	—	Ouverture.	Radial.
4° Grande électrode sur l'épaule gauche :			
Mêmes résultats qu'avec l'électrode dans le dos.			

Les résultats, avec la grande électrode sur l'épaule, ont été les mêmes qu'avec la grande électrode dans le dos : le Radial répondait à la fermeture négative et à l'ouverture positive, alors que c'était le vaste externe qui répondait seul à la fermeture quand la petite électrode était positive et à l'ouverture quand elle était négative. La grande électrode placée au-dessus de la petite donnait donc le même résultat que l'électrode dans le dos. L'électrode placée en dessous changeait les muscles excités par les électrodes physiologiques diffuses.

Ainsi, la situation de la petite électrode conditionne les secousses de fermeture négative et d'ouverture positive, alors que les secousses de fermeture pour la petite électrode positive, et d'ouverture quand elle est négative, sont conditionnées par la situation de la grande électrode.

Dè cette étude, il résulte donc que les conclusions de H. Cardot et H. Laugier s'appliquent bien à l'excitation percutanée. Il n'était pas inutile de s'en assurer.

Dans l'étude de la chronaxie mesurée à travers les téguments, j'emploierai la méthode monopolaire le plus souvent : mais ce n'est pas parce que cette méthode permettrait, comme le croyait Chauveau, de caractériser une excitabilité positive et une excitabilité négative ; c'est uniquement parce qu'il est plus commode de manier une seule électrode que d'en manier deux. Si nous étudions la chronaxie avec l'un et l'autre pôle, ce sera pour comparer l'excitabilité de deux régions différentes et non pour comparer l'excitabilité d'une même région à l'un et à l'autre pôle.

C. — Résumé.

Pour résumer, on peut dire que, dans l'excitation percutanée, qu'on emploie la méthode bipolaire ou la méthode dite « monopolaire », on a toujours à considérer exclusivement des électrodes physiologiques ou pôles virtuels, et que ces électrodes sont plus ou moins diffuses ou plus ou moins denses, suivant la situation des électrodes à la surface de la peau : cette situation a pour seul rôle de commander la direction des lignes de force et de régler, par conséquent, la distribution du courant.

La manière d'appliquer et de tenir l'électrode est donc une partie très importante de la technique de l'excitation percutanée et ne laisse pas que d'être très délicate. Pour agir avec certitude, il faut que la petite électrode soit très exactement placée sur le nerf ou le point moteur qu'on étudie ; sinon, ces régions se trouveraient en dehors de l'action de l'électrode physiologique de même signe que l'électrode instrumentale.

Dans l'excitation longitudinale, on ne sait que difficilement où se

forme la cathode physiologique réellement active à la fermeture (ou l'anode physiologique quand il s'agit d'ouverture) chez les sujets normaux. Aussi, pour étudier la physiologie normale au moyen de l'excitation percutanée faut-il, au moins actuellement, s'attacher surtout à l'étude du nerf et du point moteur du muscle sans trop s'arrêter à l'excitation longitudinale qui n'est pas encore complètement élucidée dans son mécanisme.

IV

DE LA RÉSISTANCE DES TISSUS ENTRE LES DEUX ÉLECTRODES DANS L'APPLICATION PERCUTANÉE

A. — Variations de l'intensité d'un courant continu traversant les téguments.

Maintenant que nous savons quelles précautions il faut prendre, à cause des courants dérivés, pour localiser exactement l'excitation dans l'application percutanée, il nous reste à rechercher dans quelles conditions on peut connaître, sinon l'intensité utile, du moins l'intensité totale; il faut donc étudier comment se comportent les tissus pendant le passage du courant. Lorsqu'on ferme un courant continu par deux électrodes placées à la surface de la peau, le passage du courant à travers les téguments produit des phénomènes complexes sur la nature desquels l'accord est loin d'être fait, mais dont le résultat est que l'intensité du courant varie, sinon indéfiniment, du moins pendant un temps très long.

La peau forme une barrière au passage du courant. L'épiderme est même complètement infranchissable. Si le courant pénètre, c'est grâce aux orifices glandulaires dans lesquels se trouvent des produits de sécrétion contenant des électrolytes. La peau offre donc, suivant les régions, une résistance électrique variable avec leur richesse en orifices glandulaires. La peau constitue un tissu dont la résistance électrique est beaucoup plus grande que celle des tissus sous-jacents, muscles, nerfs ou vaisseaux. Mais, c'est tout ce qu'on peut en dire, car nous ne savons pas ce que c'est que la résistance électrique de la peau.

L'évaluation, même approximative, de la valeur de cette résistance, est à peu près impossible. Avec tous les procédés de mesure, la résistance trouvée varie avec le voltage et, par suite, avec l'intensité employée; avec le temps de passage du courant; avec la répétition des mesures; suivant qu'on considère l'intensité initiale ou l'intensité finale; etc... Les chiffres donnés oscillent entre quelques centaines d'ohms et 50 000 à 100 000 ohms selon les conditions de l'expérience.

C'est que le passage du courant à travers la peau produit d'importants phénomènes de polarisation, en même temps que des modifications des colloïdes et bien d'autres phénomènes plus ou moins bien déterminés, le tout concourant à déterminer une variation de la *résistance apparente*.

Je n'entrerai pas dans l'étude des causes de ces variations de la *résistance apparente* de la peau. Il nous importe peu, d'ailleurs, pour le sujet qui nous occupe, de chercher la solution de ce problème. Il vaut mieux, pour nous, chercher à préciser empiriquement l'étendue des variations et tâcher d'éliminer cette cause d'erreur et de difficulté dans la mesure de l'excitabilité à travers les téguments.

Je me borne donc, ici, à rappeler rapidement ce que nous savons des variations d'intensité du courant quand il passe à travers les téguments, de façon à poser exactement le problème à résoudre au point de vue de la mesure de la chronaxie dans l'excitation percutanée.

Constituons un circuit comprenant simplement une source de courant continu à potentiel variable, un milliampèremètre, le sujet, et une clef pour fermer ou ouvrir le circuit. Pour amener le courant au sujet, nous utiliserons des électrodes impolarisables, telles que celles que je décris plus loin par exemple, ou telles que celles qu'on peut très simplement constituer avec un disque de zinc amalgamé séparé de la peau par une double couche d'amiante. La première couche d'amiante, en contact direct avec le zinc, est imbibée d'une solution saturée de sulfate de zinc ; la deuxième, en contact immédiat avec la peau, est imbibée d'une solution de chlorure de sodium à un taux qu'on peut, sans inconvénient, faire varier de 4 pour 100 à 9 pour 100. J'ai vérifié que ces électrodes ne donnent aucune force électromotrice et qu'il n'y a pas de courant de diffusion gênant. On peut faire les expériences avec deux électrodes égales, placées sur la même face d'un membre, plus ou moins loin l'une de l'autre, ou avec deux électrodes inégales, dont la grande est placée sur un point quelconque du corps et la petite sur la région que l'on étudie.

Si l'on ferme le courant dans ces conditions, on constate les phénomènes suivants :

1° Avec un voltage déterminé, l'intensité varie pendant que le courant passe, sauf dans le cas d'intensités très faibles inférieures à quelques dixièmes de milliampères.

2° En prenant successivement des voltages différents, l'intensité, au moment de l'établissement du courant, n'est pas proportionnelle au voltage. Lorsque, après avoir fait passer le courant sous un voltage déterminé, puis sous un voltage plus élevé, on reprend le premier voltage employé, l'intensité initiale est plus grande qu'elle ne l'était au premier passage sous le même voltage. Enfin, quand on renverse le courant, l'intensité augmente. Il y a donc à étudier séparément ces trois phénomènes.

1^o **Variation de l'intensité pendant le passage du courant.** — C'est un fait connu depuis longtemps des électrothérapeutes que l'intensité augmente rapidement et longtemps pendant que le courant passe.

La durée de la variation et sa grandeur dépendent de l'intensité initiale et de la région examinée.

C'est de ces données classiques que je suis parti pour chercher une technique de mesure de la chronaxie à travers les téguments.

Cependant, à l'occasion des recherches de David Wechsler sur le réflexe psycho-galvanique, j'ai repris cette question avec la collaboration de cet auteur. Ces recherches nous ont permis de préciser quelques points que je vais résumer.

Nous avons étudié, dans les conditions ci-dessus décrites, les variations de l'intensité pendant le passage du courant sur différentes régions, sur un sujet normal, et nous en avons construit les courbes.

Quand on ne dispose pas d'un galvanomètre enregistreur, comme c'était notre cas, on peut construire des courbes très satisfaisantes en suivant les intensités par fractions de minute au moyen d'une montre à secondes.

Comparons donc ce qui se passe sur deux régions différentes, l'avant-bras et la paume de la main.

a). *Expériences sur l'avant-bras.* — Sur l'avant-bras, il y a lieu de distinguer ce qui se passe avec les intensités initiales faibles et les intensités initiales fortes.

Avec les intensités moyennes ou fortes, c'est-à-dire supérieures à quelques 1/100 de milliampère, on observe une augmentation de l'intensité, rapide au début puis plus lente, pour arriver à une intensité stable au bout d'un temps qui peut atteindre 5/4 d'heure.

L'écart entre l'intensité initiale et l'intensité finale augmente au fur et à mesure qu'on prend des intensités initiales plus grandes.

Avec les intensités initiales faibles, inférieures à 3/100 de milliampère, l'intensité est stable.

Voici, à titre d'exemple, deux expériences sur l'avant-bras du même sujet.

1^{re} *Expérience.* — 20 décembre 1921. — Avant-bras droit.

Deux électrodes égales impolarisables de 5 cm², 50 de surface constituées par un disque de zinc amalgamé et de deux couches d'amiante imbibées, l'une d'une solution saturée de So⁴Zn et l'autre d'une solution de NaCl à 4 pour 1000, sont placées sur la face antérieure de l'avant-bras. — Courant descendant. — Distance des électrodes : 5 cm, 5.

V = 8 volts.

Intensité : 0 mA, 02. — N'a pas varié au bout de 2 minutes.

Deuxième expérience. — 15 février 1922. — Avant-bras gauche.
Mêmes électrodes.

Distance des électrodes : 7 cm.

V = 20 volts (voir fig. 5).

TEMPS	INTENSITE EN MILLIAMPÈRES
Établissement du courant	1 mA,5
Au bout de 0 minute 15 secondes.	2 mA,4
— 0 — 30 —	2 mA,9
— 0 — 45 —	3 mA,25
— 1 minute	3 mA,5
— 1 — 15 secondes.	3 mA,75
— 1 — 30 —	3 mA,9
— 2 —	4 mA
— 2 — 15 secondes.	4 mA,1
— 2 — 30 —	4 mA,2
— 3 — 45 —	4 mA,5
— 4 —	4 mA,55
— 6 —	4 mA,8
— 9 —	5 mA,15
— 18 —	6 mA,1
— 35 —	7 mA,85
— 48 —	8 mA,2
— 50 —	8 mA,4
— 1 h. 23 minutes.	8 mA,4

L'intensité a donc varié pendant 50 minutes. Elle est passée de 1 mA,5 à 0 mA,4 pendant ce laps de temps; après quoi, elle est restée stationnaire jusqu'à la fin de l'expérience, pendant les 33 minutes suivantes. Les expériences faites avec la méthode dite « monopolaire » donnent les mêmes résultats.

b): *Expériences sur la paume de la main.* — Le phénomène est général et suit une courbe de même forme sur toutes les régions quand on opère avec des intensités initiales suffisantes, variables avec les régions.

La seule différence d'une région à l'autre est dans l'écart entre l'intensité initiale et l'intensité finale et dans la valeur de l'intensité initiale à partir de laquelle le phénomène existe.

Ainsi, à la paume de la main, il faut que l'intensité initiale soit aux environs de 2 mA,5 à 3 mA, pour qu'on assiste à l'augmentation progressive de l'intensité. L'écart entre l'intensité finale et initiale est inférieur à ce qu'il est sur l'avant-bras. Dans une expérience, par exemple, il a été de 2 mA,9 à 8 mA,8 au lieu de 1 mA,5 à 8 mA,4 sur l'avant-bras.

Avec les intensités comprises entre 1 et 2 mA, 5, à la paume de la main, l'intensité ne varie pas, c'est-à-dire que le résultat est le

même qu'avec les intensités inférieures à 0 mA,03 sur l'avant-bras.

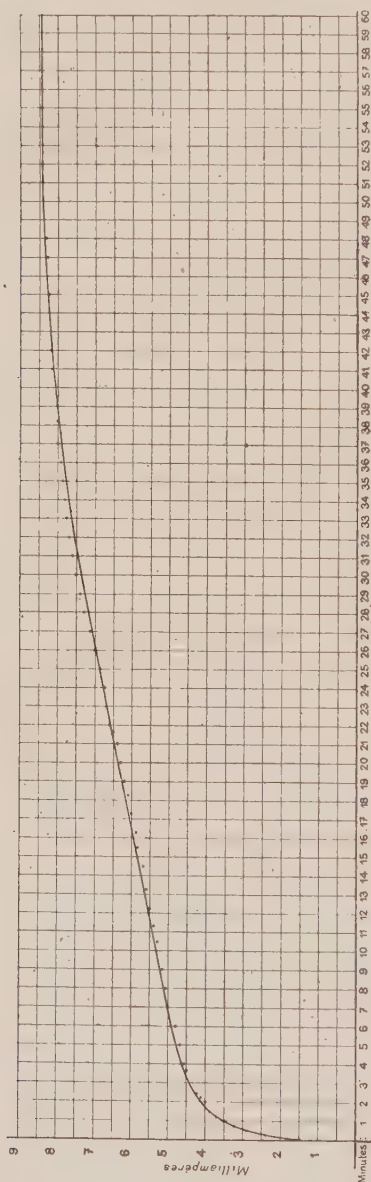


FIG. 5. — VARIATION DE L'INTENSITÉ PENDANT LE PASSAGE DU COURANT.
Avant-bras gauche. — 20 volts. — (Expérience du 15 février 1922.)

Il y a donc simplement décalage du point de départ du phénomène en passant d'une région à l'autre. Dès lors, il n'est pas étonnant que nous ayons pu mettre en évidence, avec les intensités initiales faibles comprises entre $1/10$ et $5/10$ de milliampère, sur la paume de la main, un phénomène que nous n'avons pas pu voir sur l'avant-bras : il eût fallu un galvanomètre d'une sensibilité plus grande que celui dont je dispose et qui permet de mesurer seulement le $1/100$ de milliampère.

Ce phénomène consiste en ce que, au lieu d'augmenter, l'intensité diminue. Voici un exemple des trois modes de variations de l'intensité sur la paume de la main. Les trois expériences ont été faites le même jour sur le même sujet, sans déplacer les électrodes.

Expérience du 20 janvier 1922. — Méthode bipolaire. — Mêmes électrodes que ci-dessus. — Pôle + sur le talon de la main. — Pôle — au centre de la paume de la main.

Distance des électrodes : 5 c., 3 (voir fig. 6).

Ainsi, avec l'intensité initiale de 0 mA,35, l'intensité diminue pendant toute l'expérience. Avec une intensité initiale de 0 mA,7 l'intensité ne bouge pas, ou plutôt ne présente que quelques oscillations qui équivalent à la stabilité : il semble, quand on considère cette courbe d'apparence sinusoïdale, qu'il y ait équilibre entre deux variations inverses, avec tendance à la prédominance tantôt de

1° — V = 20 v.		2° — V = 30 v.		3° — V = 50 v.	
TEMPS	INTENSITÉ EN mA	TEMPS	INTENSITÉ EN mA	TEMPS	INTENSITÉ EN mA
Établ ^t du cour ^t .	0,35	Établ ^t du cour ^t .	0,7	Établ ^t du cour ^t .	2,9
Aubout de 10".	0,34	Aubout de 55".	0,74	Aubout de 15".	3
— 30".	0,32	— 4'10".	0,7	— 30".	3,15
— 50".	0,3	— 1'40".	0,68	— 45".	3,3
— 1' . . .	0,29	— 2'15".	0,65	— 1' . . .	3,45
— 2' . . .	0,27	— 3'15".	0,64	— 1'30".	3,7
— 2'30".	0,26	— 3'30".	0,72	— 2' . . .	3,8
— 2'45".	0,25	— 4'15".	0,66	— 2'30".	4,15
— 3'10".	0,24	— 4'30".	0,7	— 3'30".	4,5
— 3'30".	0,23	— 4'50".	0,68	— 4' . . .	4,75
— 3'45".	0,23	— 6' . . .	0,66	— 5' . . .	5,1
— 4' . . .	0,23			— 6' . . .	5,4
— 4'15".	0,22			— 7' . . .	5,8
— 4'30".	0,22			— 8' . . .	6,
— 5'05".	0,22			— 9' . . .	6,2
— 6' . . .	0,22			— 10' . . .	6,4
— 6'30".	0,22			— 11' . . .	6,65
				— 12' . . .	6,85
				— 13' . . .	7,1
				— 15' . . .	7,5
				— 18' . . .	7,8
				— 20' . . .	8,1
				— 24' . . .	8,3
				— 27' . . .	8,6
				— 30' . . .	8,75
				— 40' . . .	8,8
				— 45' . . .	8,8
				— 1 h. . . .	8,8

l'une et tantôt de l'autre. Avec une intensité initiale de 2 mA, 9, on assiste à l'augmentation de l'intensité comme sur l'avant-bras.

C). — **Résumé.** — On peut donc dire que, d'une façon générale, sur toutes les régions :

1° Les intensités initiales faibles sont suivies de diminution de l'intensité. Ce phénomène n'est facile à mettre en évidence que sur la main. La polarisation est vraisemblablement le phénomène prédominant.

2° Les intensités initiales moyennes sont stables : il y a équilibre entre deux phénomènes inverses, dont l'un est certainement la polarisation.

3° Les intensités initiales fortes sont suivies d'augmentation de l'intensité : il y a prédominance d'un phénomène encore mal connu, qui agit en sens inverse de la polarisation. C'est la nature de ce phé-

nomène qui soulève les discussions dans lesquelles je ne puis entrer ici.

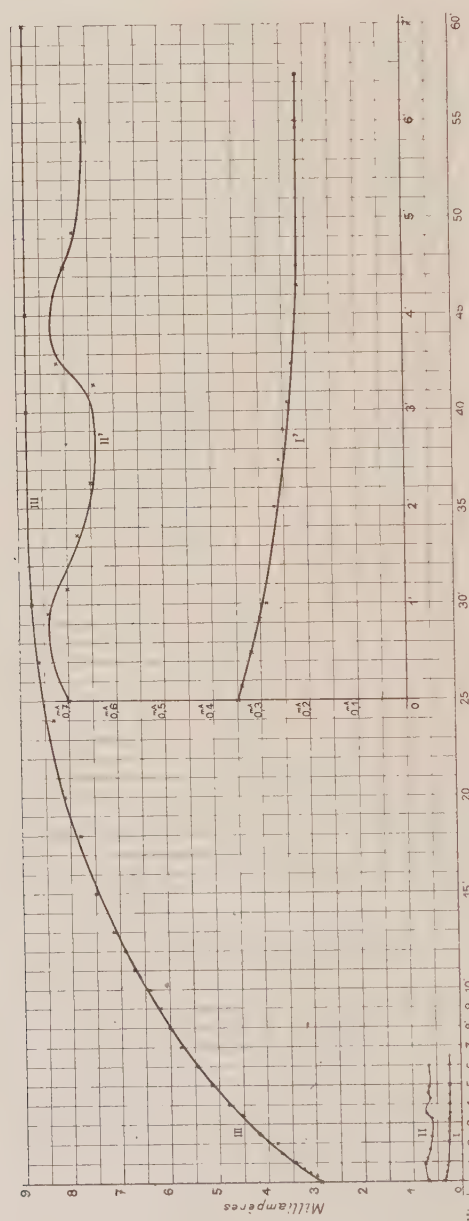


FIG. 6. — VARIATIONS DE L'INTENSITÉ PENDANT LE PASSAGE DU COURANT.

Paume de la main. (Expérience du 20 janvier 1922.)

I. V = 20 II. V = 30 III. V = 50

I et II. Mêmes courbes qu'en I et II à une échelle plus grande.

Ce qui différencie les diverses régions entre elles, c'est donc bien la valeur absolue des intensités initiales dites « faibles », « moyennes » et « fortes ».

Il faut remarquer que, en parlant d'« intensité initiale » dans ces expériences, il s'agit de celle qu'on lit lorsque l'oscillation du galvanomètre est terminée. L'intensité réellement initiale nous échappe donc. Or, l'oscillation du galvanomètre demande un temps plus long certainement que la durée du processus d'excitation. Il est donc vraisemblable que, en matière d'excitation, l'intensité efficace est inférieure à l'intensité dite « initiale » lue au galvanomètre.

Au point de vue qui nous occupe, nous ne devons donc retenir qu'une chose, c'est que, aussitôt la fermeture du courant, l'intensité commence à varier très vite. La durée totale de la variation ne nous intéresse pas.

Il nous faut retenir aussi que les phénomènes de la polarisation sont beaucoup plus importants dans la peau de la paume de la main que sur le dos de la main ou partout ailleurs. Je n'ai pas fait d'expériences sur le pied. Il est vraisemblable que la peau de la plante du pied, étant données ses caractères anatomiques, se comporte comme la peau de la paume de la main.

2^e Variation de l'intensité initiale en fonction du voltage. —

Lorsque l'on mesure, autant que la chose est possible, l'intensité initiale avec des voltages différents, on constate que ces intensités ne sont pas proportionnelles aux voltages : les intensités initiales croissent plus vite que les voltages.

Pour faire cette expérience, il n'est plus besoin de laisser passer le courant longtemps. On ferme le circuit juste le temps nécessaire à la lecture du galvanomètre.

Là encore, il y a lieu de distinguer les intensités faibles et les autres. Avec les intensités très faibles, les intensités sont proportionnelles aux voltages. Avec les intensités plus grandes, la proportionnalité disparaît, et cela aussi bien à la paume de la main que sur toute autre région de la peau.

Si, après avoir mesuré l'intensité avec des voltages croissants, on reprend un voltage inférieur antérieurement utilisé, l'intensité, pour ce voltage, est plus grande qu'au premier passage.

Ces faits sont bien mis en évidence par les expériences suivantes :

Première expérience. — 4^{er} février 1922. — Face palmaire des doigts. — Méthode monopolaire double. — Électrodes impolarisables (Ag et Ag Cl) égales. — Pôle + fixé sur la face palmaire de la phalange des 3^e et 4^e doigts de la main *gauche*. Pôle — fixé sur la région symétrique des mêmes doigts de la main *droite*.

VOLTAGE	INTENSITÉ	INTENSITÉ
		CALCULÉE QUI SERAIT PROPORTIONNELLE AU VOLTAGE
1 v	0 mA,01	
2 v	0 mA,02	0 mA,02
4 v	0 mA,06	0 mA,04
6 v	0 mA,11	0 mA,06
10 v	0 mA,26	0 mA,10
20 v	0 mA,52	0 mA,20
25 v	0 mA,66	0 mA,25
20 v	0 mA,64	0 mA,20

Deuxième expérience. — 10 mai 1914. — Face interne du bras gauche. — Méthode monopolaire. — Grande électrode + dans le dos. Petite électrode — sur la région du point moteur du biceps. — Électrodes impolarisables (Ag et Ag Cl).

VOLTAGE	INTENSITÉ	INTENSITÉ
		CALCULÉE QUI SERAIT PROPORTIONNELLE AU VOLTAGE
10 v	1 mA,1	
19 v	2 mA,9	2 mA,09
20 v	3 mA,5	2 mA,2
30 v	8 mA,2	3 mA,3
20 v	5 mA,1	2 mA,2

Ces expériences montrent donc bien que les intensités croissent plus vite que les voltages et qu'on ne trouve l'intensité proportionnelle au voltage que pour les intensités extrêmement faibles.

Elles montrent aussi qu'en revenant à un voltage déjà employé, l'intensité obtenue est plus grande au 2^e passage qu'au 1^{er}.

Les résultats sont les mêmes dans tous les modes de disposition des électrodes (méthode monopolaire, méthode bipolaire, méthode monopolaire double).

3^o Variation de l'intensité dans les renversements du courant. — Dans ces expériences, tantôt je me suis servi, pour faire les renversements, d'un renverseur, et tantôt j'ai substitué au renverseur et à la clef simple la double clef de Courtade. Avec le premier procédé (renverseur), les électrodes et le sujet ne sont pas mis en court circuit à l'ouverture ; au contraire, avec la double clef de Courtade, les électrodes et le sujet sont mis en court circuit à l'ouverture. Les résultats ont été exactement les mêmes avec les deux procédés.

Dans ces expériences, non seulement on observe toujours les variations d'intensité précédemment étudiées, mais encore on constate qu'en renversant le courant l'intensité augmente.

Voici deux expériences qui résument tous ces faits :

Première expérience. — 10 mai 1914. — Électrodes impolarisables (Ag et Ag Cl). — Grande électrode dans le dos. — Petite électrode fixée au point moteur du biceps gauche. — Clef simple et renverseur. — Temps mesuré au métronome battant la 1/2 seconde. — Établissements et ruptures brusques du courant. — J'appelle « sens direct » du courant celui dans lequel la grande électrode est positive et la petite électrode négative.

VOLTAGE	SENS DIRECT DU COURANT			SENS RENVERSÉ	
	INTENSITÉ INITIALE	INTENSITÉ AU BOUT DE 3 SECONDES	INTENSITÉ AU BOUT DE 10 SECONDES	INTENSITÉ INITIALE	INTENSITÉ AU BOUT DE 10 SECONDES
19 v	2 mA,9	3 mA,1	4 mA,2		
20 v	3 mA,5	3 mA,7			
30 v	8 mA,2		9 mA		
20 v	5 mA,1		5 mA,1	5 mA,5	5 mA,7

Deuxième expérience. — 2 septembre 1915. — Mêmes conditions, sauf que la petite électrode était fixée sur la face antérieure de l'avant-bras. — Les renversements ont été faits aussitôt l'intensité initiale lue.

VOLTAGE	INTENSITÉ INITIALE	
	SENS DIRECT	SENS RENVERSÉ
11 v	1 mA	2 mA
20 v	2 mA,5	3 mA,5

Ainsi, nous retrouvons ici tous les faits étudiés précédemment et nous voyons, en outre, l'augmentation de l'intensité en renversant le courant.

On peut résumer ainsi toutes ces expériences :

- 1° L'intensité augmente pendant le passage du courant.
- 2° Elle augmente quand on change le sens du courant.
- 3° Quand on revient à un voltage employé au début de l'expérience (20 v. dans les expériences) après des passages de courant avec voltages croissants, l'intensité est plus grande qu'à la première

mesure, mais elle se stabilise. Cependant, en renversant le courant, elle augmente.

4° L'intensité n'est pas proportionnelle au voltage. Ainsi, en passant de 19 v. à 30 v., soit à un voltage inférieur au double du premier, l'intensité est passée de 2 mA,9 à 8 mA,2, au lieu de 4 mA,6, qui serait l'intensité proportionnelle. Il y a donc, entre l'intensité proportionnelle au voltage et l'intensité expérimentale, un écart de 78 0/0.

B. — Indétermination de la résistance entre les deux électrodes.

Ces variations de l'intensité, en fonction du temps de passage du courant, de la répétition des passages du courant (ce qui revient à une durée de passage), des renversements du courant et de la valeur de l'intensité initiale, font bien comprendre toute l'incertitude des mesures de résistance du sujet et la variabilité des résultats obtenus par les différents auteurs, d'autant plus qu'ils ont employé des procédés différents. Les uns emploient le courant galvanique et la méthode du pont (Weiss), les autres emploient une méthode de substitution. D'autres ajoutent brusquement en série une résistance connue, comme Wertheim Salomonson; d'autres, comme Bergonié, ont opéré avec le courant alternatif de la bobine d'induction, certains utilisent le pont de Kolbrausch; les uns emploient de fortes intensités, d'autres de faibles; les uns s'occupent de l'intensité initiale, d'autres de l'intensité finale, et rien ne permet de dire quelle est la vraie résistance au milieu de tout cela.

Certains auteurs, avec Gildmeister, ont même cherché à mesurer la résistance avec les courants de haute fréquence.

Pour les uns, toutes les variations observées s'expliquent par une variation réelle de la résistance, comme le dit Stéphane Leduc, qui l'attribue à la pénétration des ions de l'électrode dans la peau. Il a même montré que la courbe de variation de l'intensité sous un voltage déterminé est caractéristique de l'ion employé dans l'électrode. Dans nos expériences, il n'y a jamais eu en jeu que le Chlore et le Sodium. Pour les autres, et en particulier pour Gildmeister et, plus récemment, Strohl¹, la résistance est fixe et toutes les variations sont déterminées par des polarisations et des dépolarisations, sans qu'on aperçoive bien, d'ailleurs, comment et pourquoi, après s'être polarisés, les tissus se dépolariseraient pendant le passage du courant. Pour ma part, je pense que les phénomènes sont beaucoup plus complexes et qu'une explication simple ne rend compte que d'une

1. A. STROHL. *C. R. de la Soc. de Biologie*, t. LXXXIV, p. 125, 1921 et t. LXXXV, p. 948, 1921. — *Archives d'Électricité médicale et de Physiothérapie*, n° 478, mai 1922.

partie des phénomènes. Il me semble qu'on oublie qu'à côté des phénomènes d'électrolyse et de polarisation, le courant produit des transports de colloïdes et des modifications de complexes colloïdes-électrolytes ; peut-être y a-t-il là une cause de variations réelles de la résistance, qui agirait en sens inverse de la polarisation. Il me paraît, pour le moment, impossible de donner une explication définitive de ces phénomènes. Mais il me semble que mes expériences montrent que tout se passe comme si les variations observées étaient dues à la somme algébrique des deux phénomènes, polarisation et variation réelle de la résistance. Aussi, me paraît-il plus simple de ne considérer que les faits eux-mêmes et de ne parler que de voltage et d'intensité, en considérant le quotient de l'un par l'autre comme une résistance apparente.

L'essence des phénomènes nous importe peu d'ailleurs. Il nous suffit de savoir que les variations d'intensité que je viens d'étudier rendent illusoire toute tentative de mesure de l'excitabilité avec le montage ordinaire de l'électrodiagnostic. Comment pourrait-on établir une loi de Weiss ou mesurer une chronaxie, alors qu'il n'y a aucune proportionnalité entre le voltage et l'intensité, que l'intensité varie tout le temps indépendamment du voltage, et que même sur une même région d'un même sujet, et toutes choses égales d'ailleurs, un même voltage ne donne pas deux fois la même intensité dans une série de mesures ?

Le premier problème à résoudre, pour établir une technique de mesure de la chronaxie, était donc de supprimer ou, du moins, de diminuer l'importance des variations de l'intensité que nous venons d'étudier. C'est l'étude précise que je viens de faire des conditions de l'excitation percutanée, qui m'a permis d'établir une technique permettant de mesurer correctement la chronaxie à travers les téguments.

CHAPITRE II

RECHERCHES PRÉALABLES A L'ÉTABLISSEMENT D'UNE TECHNIQUE DE MESURE DE LA CHRONAXIE A TRAVERS LES TÉGUMENTS

I

POSITION DE LA QUESTION

Il est donc établi que, si l'on peut localiser exactement l'excitation à travers le revêtement cutané dans le nerf ou le muscle que l'on veut en prenant les précautions nécessaires, il est impossible de connaître exactement l'intensité qui passe, ni directement, ni indirectement par le voltage, pas plus que la résistance entre les électrodes.

Or, il est bien évident que la loi de Weiss et la chronaxie n'ont pu être établies par leurs auteurs que grâce à ce qu'ils ont pu constituer des circuits dans lesquels l'intensité était stable et proportionnelle aux voltages.

Il m'apparut donc, dès le début de mes recherches, en raison de l'étude que je viens de faire des conditions de l'excitation percutanée, qu'il fallait d'abord se préoccuper de supprimer ou d'atténuer les variations de l'intensité.

Si l'on arrivait en effet, d'une part, à rendre la variation de l'intensité pendant le passage du courant assez faible pour que l'écart entre l'intensité initiale et l'intensité au bout de quelques secondes soit négligeable, et, d'autre part, à rendre l'intensité initiale sensiblement proportionnelle au voltage simplement pour des variations de voltage dans le rapport de 1 à 2, il devait être facile de mesurer exactement la chronaxie.

Tout le problème était donc d'atténuer les variations de la résistance apparente du sujet.

C'est donc à cette question que je me suis attaqué tout d'abord. Il semblait très simple de résoudre le problème comme il l'avait été en physiologie animale et d'ajouter en série avec le sujet une résistance suffisamment élevée pour que la résistance propre du sujet devienne

négligeable vis-à-vis de la résistance additionnelle. Une première difficulté surgissait aussitôt. A travers les téguments, une très faible fraction de l'intensité seulement passe par le tissu qu'on excite. D'autre part, bien qu'on ne puisse pas connaître exactement la résistance de la peau, il est certain que cette résistance, au moins celle de l'épiderme, est beaucoup plus grande que celle des tissus sous-jacents, surtout les nerfs et particulièrement les muscles, qui sont les tissus les moins résistants d'après toutes les recherches classiques. Il suffit en effet, pour s'en convaincre, de supprimer l'épiderme par l'application d'un vésicatoire comme l'a fait Jolly. Après avoir mesuré, en méthode monopolaire, l'intensité initiale pour un voltage déterminé à la surface de la peau intacte, on enlève l'épiderme en appliquant un vésicatoire et en réséquant l'épiderme soulevé; on fait, de nouveau, la mesure de l'intensité avec le même voltage, l'électrode étant appliquée sur la peau privée de son épiderme. On trouve, pour le même voltage, une intensité considérablement plus grande. Jolly l'a vu varier, sur certaines régions, dans le rapport de 1 à 400.

Ces conditions, courants dérivés et grande résistance de l'épiderme, ont pour résultat d'entraîner des voltages liminaires beaucoup plus élevés dans l'excitation percutanée que sur les nerfs et muscles dénudés. Je me trouvais, d'autre part *a priori*, limité dans l'emploi des résistances additionnelles par la nécessité de ne pas dépasser un voltage non dangereux. Un court circuit excluant la résistance additionnelle peut toujours se produire et il pourrait arriver, par suite de concordances malheureuses, que le sujet se trouvât relié accidentellement directement à la totalité de la source. Je me suis donc imposé une limite de voltage dans mes expériences sur l'Homme : 200 volts m'a paru le maximum permis en me basant sur tout ce que nous savons des accidents de l'électricité et encore, en prenant de grandes précautions.

Dans l'étude du problème, un autre élément devait encore intervenir. Non seulement il fallait atténuer suffisamment les variations de l'intensité, tout en limitant le voltage maximum à 200 volts, mais encore il fallait, avec ce voltage maximum, obtenir une intensité maxima suffisante pour les besoins de l'électrophysiologie humaine. Or, si, à l'état normal, on peut estimer que les rhéobases approximativement mesurées, sont comprises suivant les muscles et la surface des électrodes entre quelques $1/10$ de milliampère et 4 à 5 milliampères, dans beaucoup d'états pathologiques, les rhéobases peuvent dépasser 10 et même atteindre 12 à 15 milliampères.

Avec une intensité maxima de 10 milliampères, on est donc sûr de pouvoir étudier la loi d'excitation de tous les muscles ou nerfs normaux, mais il n'en va pas de même pour les états pathologiques. Il faut, en effet, disposer, sinon toujours d'une intensité double de celle de la rhéobase, au moins d'une intensité quelque peu supérieure. Une

intensité de 15 à 20 milliampères est donc l'intensité la plus faible dont il faille disposer comme intensité maxima.

Le premier problème à résoudre était donc celui-ci :

Trouver le moyen d'atténuer suffisamment les variations d'intensité dues au sujet pour rendre la mesure de la chronaxie possible, sans que ce moyen entraîne la nécessité d'employer un voltage supérieur à 200 volts, pour obtenir au moins 15 à 20 milliampères dans le sujet.

Une fois ce problème général résolu, d'autres questions se posaient, et, d'abord, celle du choix de l'instrument destiné à fournir les ondes brèves de durée connue.

J'avais le choix entre le rhéotome balistique de Weiss et les condensateurs. Aujourd'hui, nous disposons, en outre, du chronaximètre de Lapique et de l'égersimètre de Strohl.

Pour les raisons qui ressortent de l'étude des points moteurs des muscles et des zones d'élection des nerfs, et de l'étude de la distribution du courant, il est clair que la qualité première d'un instrument destiné à la mesure de la chronaxie dans l'excitation percutanée, est de permettre de répéter rapidement les excitations pour la vérification constante de la situation de l'électrode par rapport au tissu excité.

Point n'est besoin de longues discussions pour voir que ce sont les condensateurs qui réalisent le mieux ce desideratum, puisqu'une simple clef permet de faire, très vite, des séries de charges et de décharges.

Mais, avec les condensateurs, il fallait, non seulement obtenir la proportionnalité des intensités aux voltages, mais encore connaître la résistance R du circuit, d'où un deuxième problème à résoudre qu'on peut poser ainsi :

Trouver un procédé pour connaître la résistance du circuit de décharge des condensateurs, dans lequel se trouve un sujet entier.

II

RECHERCHES EN VUE DE STABILISER L'INTENSITÉ ET DE CONNAÎTRE LA RÉSISTANCE DU CIRCUIT

A. — Influence des résistances additionnelles en série avec le sujet sur les variations de l'intensité.

1^o Technique. — La question étant posée comme je viens de le dire, j'ai commencé par étudier comment se comporte l'intensité d'un courant continu traversant un sujet entier, lorsqu'on ajoute en série avec lui des résistances instrumentales variables.

Dans mes premières recherches, j'avais employé des résistances en

graphite, couramment utilisées dans les laboratoires de physiologie, construites avec des mines de crayons Conté.

J'ai dû rapidement abandonner ces résistances. En effet, avec les intensités de 2 à 10 ou 15 mA, qu'il est souvent nécessaire d'employer sur l'Homme, ces résistances varient considérablement en raison de leur fort coefficient thermique. Avec l'échauffement croissant avec les intensités, la résistance des mines de crayons Conté diminue, c'est-à-dire qu'elle varie dans le même sens que la résistance apparente du sujet. Il en résultait que, pour des intensités un peu grandes, le

quotient $\frac{E}{I}$ donnait, pour la somme de la résistance du sujet, de la résistance additionnelle et de la résistance des électrodes, un chiffre inférieur à la résistance du crayon mis seul en circuit et mesurée avec des intensités plus faibles.

J'ai donc remplacé ces résistances inutilisables chez l'homme par des résistances liquides impolarisables ou par des résistances métalliques.

Je me suis servi de résistances liquides constituées par des tubes en U contenant du sulfate de zinc où le courant était amené par des électrodes en zinc amalgamé. Quelques difficultés tenant aux impuretés du zinc qui font sentir leur action quand il n'est pas très bien amalgamé, m'ont fait remplacer le sulfate de zinc et le zinc par le sulfate de cuivre et le cuivre électrolytique.

J'ai aussi employé les résistances à simple enroulement d'une boîte de résistances dite « industrielle » de Carpentier. Ni l'un, ni l'autre de ces deux types de résistances ne présentent les inconvénients des résistances en crayons Conté.

Les expériences faites avec les résistances liquides impolarisables et avec les résistances métalliques ont donné les mêmes résultats.

J'ai ainsi étudié l'influence de l'addition de résistances en série de 2000 ω à 20 000 ω environ sur la façon dont se comporte l'intensité.

Dans ces expériences, j'ai fait, chaque fois, des mesures dans les deux sens du courant, en le renversant tantôt avec un renverseur, et tantôt avec la double-clef de Courtade.

Ces expériences peuvent se grouper en deux séries.

2^e Expériences. — a) *Première série.* — *Influence des résistances en série sur les variations de l'intensité pendant les premières secondes du passage du courant.*

Dans une première série, j'ai cherché ce que devient l'intensité au bout de quelques secondes du passage du courant (2 à 10 secondes) avec des résistances additionnelles de plus en plus grandes, d'environ 2400 ω , 3500 ω , 6000 ω , 10 000 ω , 15 000 ω , 20 000 ω , et pour des intensités comprises entre 1 mA et 15 mA. Toutes les résistances employées, quelle que soit l'intensité initiale, suppriment ou

rendent négligeable la variation de l'intensité pendant le passage du courant dans les limites de durée posées (2 à 10 secondes). Ainsi, dans une expérience, avec $6000\ \omega$ en série, il a fallu faire neuf passages successifs de plusieurs secondes chacun pour voir l'intensité varier de 4 mA à 4 mA, 3.

b) *Deuxième série. — Influence des résistances en série sur les variations de l'intensité initiale en fonction du voltage.*

Le fait de la stabilisation de l'intensité pendant le passage du courant par une résistance additionnelle de $2000\ \omega$ à $20\ 000\ \omega$ étant acquis, j'ai cherché comment, dans ces conditions, variait l'intensité initiale en fonction du voltage, en faisant, pour chaque voltage employé, un passage de courant de durée mesurée dans un sens, puis dans l'autre sens. J'ai noté chaque fois l'intensité finale. En outre, j'ai repris, en cours d'expérience, un voltage antérieurement employé. J'ai ainsi étudié, à la fois, avec des résistances additionnelles variées :

1° La variation de l'intensité initiale en fonction du voltage;

2° La variation de l'intensité en renversant le courant;

3° La variation de l'intensité pour un même voltage employé avant et après l'emploi de voltages croissants.

Ces expériences m'ont permis d'établir qu'à partir de $6000\ \omega$ en série, on obtient la suppression de la variation de l'intensité en renversant le courant et en revenant au même voltage après emploi de voltages plus élevés, et une atténuation suffisante de l'écart entre la valeur de l'intensité expérimentale et celle de l'intensité proportionnelle au voltage; qu'avec $10\ 000\ \omega$ en série, l'atténuation de cet écart est très bonne et qu'avec $20\ 000\ \omega$ l'écart est pratiquement nul.

Mais, avec $20\ 000\ \omega$ en série et 200 v. on obtient généralement une intensité inférieure à 10 mA, tandis qu'avec les résistances comprises entre $6000\ \omega$ et $10\ 000\ \omega$, variables avec les régions, on obtient toujours une intensité comprise entre 12 et 18 à 20 milliampères.

C'est sur ces faits que j'ai basé le choix des résistances à mettre en série avec le sujet pour les mesures d'excitabilité.

Voici quelques exemples de ces expériences, qui vont nous permettre de préciser ces faits :

Résistance en série de $20\ 000\ \omega$. — Expérience du 10 mai 1914. — Electrodes impolarisables (Ag et Ag Cl). Grande électrode dans le dos. Petite électrode fixée au point moteur du biceps gauche. Renversements avec la double clef de Courtade. Temps mesuré au métronome battant la $1/2$ seconde. Durée de chaque passage du courant = 10 secondes.

VOLTAGE EN VOLTS	SENS DIRECT DU COURANT		SENS RENVERSÉ		INTENSITÉ CALCULÉE PROPORTION. AUX VOLTAGES	$\frac{E}{I}$
	INTENSITÉ INITIALE EN MILLIAMPÈRES	INTENSITÉ FINALE (10SECONDES)	INTENSITÉ INITIALE EN MILLIAMPÈRES	INTENSITÉ FINALE (10SECONDES)		
40	1,7	1,7	1,7	1,7		23.523
60	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	24.000
80	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	23.529
100	4,3	4,3	4,3	4,3	4,25	23.255
120	5,2	5,2	5,2	5,2	5,1	23.077
140	6,1	6,1	6,1	6,1	5,95	22.950
160	7	7	7	7	6,8	22.860

Ainsi, l'intensité est la même dans les deux sens du courant, elle est stable pendant le passage du courant et elle est sensiblement proportionnelle aux voltages.

Résistances en série de 2500 ω à 15 000 ω . — Lorsqu'on ajoute en série une résistance inférieure à 15 000 ω , on observe encore la stabilisation de l'intensité pendant le passage du courant et l'égalité de l'intensité dans les deux sens du courant, et on retrouve toujours la même intensité avec le même voltage, mais l'intensité initiale n'est plus proportionnelle au voltage. En construisant la courbe de la variation du voltage¹ et de la résistance totale apparente, $\left(\text{quotient de } \frac{V}{I}\right)$

portées en ordonnées, en fonction des intensités portées en abscisses, on voit que la variation du voltage est une droite qui a une ordonnée à l'origine, que je désigne par a , et la variation de la résistance est une hyperbole équilatère dont l'une des asymptotes, parallèle à l'axe des intensités, a pour valeur une résistance, que j'appelle b , très voisine de la résistance additionnelle. En appelant V le voltage nécessaire pour obtenir l'intensité i , et a et b les deux constantes de l'hyperbole, la droite de voltage et l'hyperbole de résistance apparente R ont pour formules :

$$(1) \quad V = a + bi$$

$$(2) \quad R = \frac{a}{i} + b.$$

Cela n'est vrai que pour les intensités supérieures à quelques 1/100 de milliampère. Au-dessous, les intensités sont proportionnelles aux voltages.

Voici trois expériences qui mettent bien ces faits en évidence. La figure 7 représente le graphique de la première de ces trois expériences.

1. G. BOURGUIGNON. *C. R. Acad. des Sc.*, t. 162, p. 262, 14 février 1916.

Expériences du 2 septembre 1915. — Première expérience. — Grande électrode fixée dans le dos. — Petite électrode fixée à la face antérieure de l'avant-bras. — Électrodes impolarisables (Ag et Ag Cl). — Renversements du courant avec la double clef. — Durée de chaque passage du courant = 2 secondes. — R en série = 5300 ω environ.

VOLTAGE	SENS DIRECT		SENS RENVERSÉ		VOLTAGE CALCULÉ PAR LA FORMULE $V = a + bi$	V I
	INTENSITÉ INITIALE	INTENSITÉ AU BOUT DE 2 SECONDES	INTENSITÉ INITIALE	INTENSITÉ AU BOUT DE 2 SECONDES		
v.	mA	mA	mA	mA	v.	
2	0,06	0,06	0,06	0,06	10,35	33,333
4	0,12	0,12	0,12	0,12	10,75	33,333
8	0,38	0,38	0,38	0,38	12,37	21,052
16	1,1	1,1	1,1	1,1	16,8	14,545
17	1,2	1,2	1,2	1,2	17,5	14,166
20	1,6	1,6	1,6	1,6	20	12,500
40	4,5	4,5	4,6	4,6	38,1	8,000
60	7,9	7,9	7,8	7,8	59,3	7,595
80	11,2	11,2	11	11	80	7,142
100	14,6	14,6	14,4	14,4	101,2	6,860

a et b calculés entre 1 mA,6 et 11 mA,2 $a = 10^v$ $b = 6250 \omega$.

a et b tirés du graphique (voir fig. 7) $a = 10^v,25$ $b = 6850 \omega$.

Les trois premiers points n'appartiennent pas à la loi. La loi se vérifie à partir de 1 mA,1 jusqu'à l'intensité maxima utilisée, soit 14 mA,6. Cette expérience vérifie la stabilisation de l'intensité pendant le passage du courant et l'égalité de l'intensité dans les deux sens du courant.

Deuxième expérience. — Même sujet. Mêmes conditions, sauf la résistance additionnelle : R en série = 6 000 ω . environ.

VOLTAGE	SENS DIRECT		SENS RENVERSÉ		VOLTAGE CALCULÉ	V I
	INTENSITÉ INITIALE	INTENSITÉ FINALE	INTENSITÉ INITIALE	INTENSITÉ FINALE		
v	mA	mA	mA	mA	v	
2	0,14	0,14	0,14	0,14	4,12	14,285
	0,32	0,32	0,32	0,32	5,62	12,500
8	0,7	0,7	0,7	0,7	8,8	11,428
16	1,56	1,56	1,54	1,54	16	10,256
20	2	2	1,9	1,9	19,7	10,000
40	4,2	4,2	4,1	4,1	38,1	9,523
80	9,1	9,1	8,9	8,9	79	8,791
100	11,7	11,7	11,5	11,5	100,8	8,547
120	14,3	14,3	14,1	14,1	122,5	8,391
60	6,7	6,7	6,6	6,6	59	8,955
80	9,2	9,2	9	9	79,9	8,695
20	2	2	2	2	19,7	10,000
40	4,3	4,3	4,3	4,3	38,9	9,302

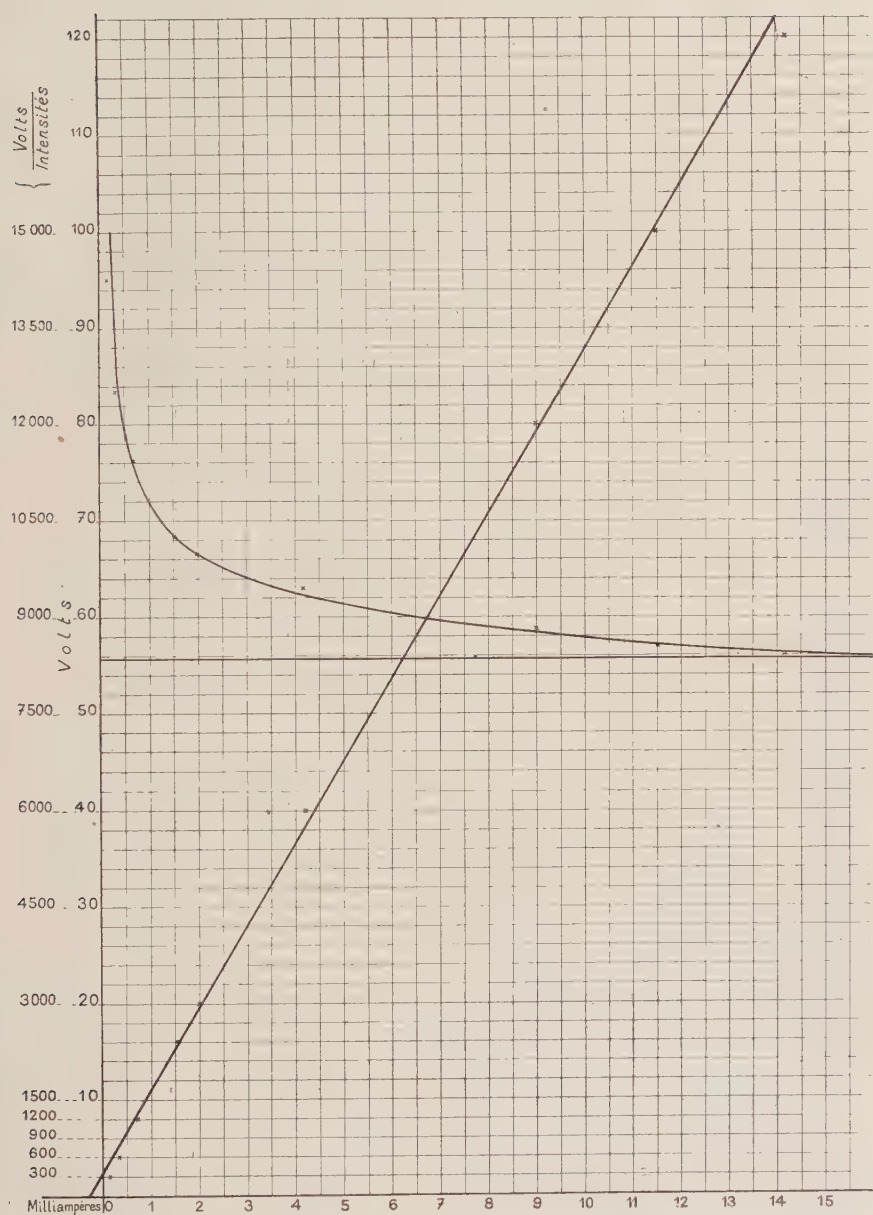


FIG. 7. — DROITE DES VOLTAGES ET HYPERBOLE DES RÉSISTANCES APPARENTES DU CIRCUIT. — SUJET EN SÉRIE AVEC UNE RÉSISTANCE ADDITIONNELLE.

2^e Expérience du 2 septembre 1913.

Avant-bras. — Méthode monopolaire. — Electrodes impolarisables.

R en série avec le sujet = 6000 ω .

Calcul : $a = 2,95$ $b = 8363 \omega$

Graphique : $a = 2,5$ $b = 8370$

a et b calculés entre 1 mA,56 et 11 mA,6 $a = 2^v,95$.
 $b = 8363 \omega$.

Ici encore, les deux premiers points (2 v. et 4 v.) n'appartiennent pas à la loi. Cette expérience montre que, non seulement l'intensité est stable et égale dans les deux sens du courant, mais encore qu'avec un même voltage pris à divers moments de l'expérience on retrouve toujours la même intensité.

Troisième expérience. — Même sujet. — Mêmes conditions, sauf la valeur de la résistance additionnelle. — R en série = 11 000 ω environ.

VOLTAGE	SENS DIRECT		SENS RENVERSÉ		VOLTAGE CALCULÉ	$\frac{V}{I}$
	INTENSITÉ INITIALE	INTENSITÉ AU BOUT DE 2 SECONDES	INTENSITÉ INITIALE	INTENSITÉ AU BOUT DE 2 SECONDES		
v.	mA	mA	mA	mA	v.	
100	7,5	7,6	7,5	7,5	98,5	13.157
120	9,2	9,2	9,2	9,2	120	12.903
180	14,2	14,2	14,1	14,1	182	12.676
100	7,6	7,6	7,6	7,6	98,5	13.157
10	0,7	0,7	0,7	0,7	11,14	14.285
20	1,4	1,4	1,4	1,4	20	14.285
30	2,1	2,1	2,1	2,1	28,86	14.285
40	2,9	2,9	2,9	2,9	38,98	13.793
60	4,4	4,4	4,4	4,4	58	13.636
80	6	6	6	6	78,2	13.333
100	7,6	7,6	7,6	7,6	98,5	13.157
180	14,2	14,2	14,1	14,1	182	12.676
120	9,3	9,3	9,2	9,2	120	12.903
20	1,4	1,4	1,4	1,4	20	14.285

a et b calculés entre 1 mA,4 et 9 mA,3 $a = 2^v,28$.
 $b = 12650 \omega$.

Toutes les expériences faites avec des résistances comprises entre 2450 ω et 15 000 ω ont donné des résultats concordants avec ceux des expériences ci-dessus. Avec toutes on observe que :

1° L'intensité est stable pendant un passage de courant de quelques secondes.

2° L'intensité reste la même ou très sensiblement la même quand on renverse le courant.

3° Quand on revient à un voltage déjà employé au cours de l'expérience on retrouve la même intensité pour le même voltage.

Les valeurs du voltage a ont été comprises entre 2 v. et 10 v. Les valeurs de la résistance b ont toujours été voisines de celle de la résistance additionnelle.

D'une façon générale, la valeur du voltage a diminue quand on augmente la résistance additionnelle pour devenir nulle lorsqu'on ajoute

environ $20\,000\ \omega$, valeur à partir de laquelle les intensités sont proportionnelles aux voltages.

Il suit de là que, avec les résistances pour lesquelles la valeur du voltage α est faible, l'écart entre l'intensité obtenue et l'intensité proportionnelle au voltage devient négligeable. L'expérience montre que ce n'est qu'à partir de $6\,000\ \omega$ que l'écart entre les intensités calculées, proportionnelles aux voltages, et les intensités obtenues, est assez faible pour qu'on puisse se contenter de l'approximation que donnent ces résistances.

En effet, dans la première expérience, avec $5\,300\ \omega$ en série, en passant de 16 v. à 100 v., l'intensité est passée de 1 mA,1 à 14 mA,6. Si l'intensité avait été proportionnelle au voltage, elle aurait été de 6 mA,9. L'écart est donc d'environ 100 pour 100 pour des voltages qui sont entre eux comme 1 est à 6,2. Si on considère les intensités obtenues avec des voltages dans le rapport de 1 à 2 (8 v. et 16 v.; 20 v. et 40 v.; 40 v. et 80 v.); ou dans le rapport de 1 à 1,66 (60 v. et 100 v.) l'erreur n'est plus que de 41 pour 100 en passant de 8 v. à 16 v., 43 pour 100 en passant de 20 v. à 40 v., 24 pour 100 en passant de 40 v. à 80 v. et de 11 pour 100 en passant de 60 v. à 100 v. : ces erreurs beaucoup plus faibles que celle que nous avons trouvée quand le sujet est seul en circuit (78 pour 100) sont encore trop importantes pour permettre d'utiliser des résistances de cet ordre de grandeur.

Dans la deuxième expérience, avec $6\,000\ \omega$ en série, en passant de 16 v. à 100 v., l'intensité est passée de 1,56 à 11,7 au lieu de 9,67, soit un écart de 20 pour 100 pour des voltages qui sont, entre eux, dans le rapport de 1 à 6,2. Si on considère les intensités obtenues avec des voltages dans le rapport de 1 à 2 (20 v. et 40 v.; 40 v. et 80 v.) l'erreur n'est plus que de 5 pour 100 en passant de 20 v. à 40 v. et 9 pour 100 en passant de 40 v. à 80 v.

Dans la troisième expérience, avec $11\,000\ \omega$ en série, en passant de 20 v. à 80 v., l'intensité est passée de 1 mA,4 à 14 mA,2 au lieu de 12 mA,6 soit un écart de 12 pour 100 pour des voltages qui sont, entre eux, dans le rapport de 1 à 9. Si l'on considère les intensités obtenues avec des voltages dans le rapport de 1 à 2 (20 v. et 40 v., 30 v. et 60 v., 60 v. et 120 v.) l'erreur n'est plus que de 3 pour 100 à 6 pour 100 suivant le voltage considéré.

En résumé, avec une résistance de $5\,300\ \omega$ en série et, *a fortiori*, avec les résistances moindres, bien qu'on obtienne une atténuation des variations d'intensité, les écarts entre l'intensité obtenue et l'intensité proportionnelle au voltage sont trop grands, au moins pour les intensités moyennes, pour qu'on puisse utiliser ces résistances.

Au contraire, l'introduction d'une résistance de $6\,000\ \omega$ à $11\,000\ \omega$ en série avec le sujet rend négligeables les erreurs dues aux variations de l'intensité, quelle qu'en soit la cause, en assurant une stabilité

satisfaisante de l'intensité pendant le passage du courant et en réduisant les écarts entre la valeur de l'intensité expérimentale et la valeur de l'intensité proportionnelle au voltage à environ 10 à 20 pour 100 et souvent moins de 10 pour 100.

Or, une approximation de 10 à 20 pour 100 est très satisfaisante dans les mesures d'excitabilité.

En outre, avec ces résistances, on obtient des intensités suffisantes comme le montrent les tableaux ci-dessus.

Les résistances comprises entre 6000ω et $11\,000 \omega$ satisfont donc aux desiderata. En conséquence, je considère que la résistance de choix à mettre en série est de $10\,000 \omega$ à $11\,000 \omega$, et que 6000ω est la valeur minima compatible avec une précision suffisante.

B. — Recherches en vue de connaître la résistance du circuit de décharge des condensateurs.

Nous avons vu que, dans la détermination de la chronaxie avec les condensateurs, il faut connaître le produit RC : de la résistance R par la capacité chronaxique $C \tau$.

Il faut donc, non seulement être à l'abri des erreurs dues aux variations de l'intensité, mais encore mesurer la résistance R .

Cluzet, supposant la résistance du sujet constante pendant le passage des ondes brèves, pensait mesurer avec une exactitude suffisante la résistance du sujet en faisant deux déterminations successives de la capacité liminaire avec le minimum d'énergie, l'une sur le sujet seul en circuit, l'autre avec une résistance additionnelle connue¹.

Or, si l'on se contente de faire l'expérience avec une seule résistance, les choses ont l'air de marcher très bien.

En effet, connaissant C_1 et C_2 , les capacités liminaires avec le minimum d'énergie (C_1), sans résistance ajoutée et avec une résistance ajoutée (C_2), en appelant R la résistance du sujet et r la résistance additionnelle, on a l'égalité suivante :

$$(1) \quad RC_1 = (R + r) C_2.$$

D'où l'on tire :

$$R = \frac{r C_1}{C_1 - C_2}.$$

L'expérience vérifie l'égalité (1).

Pour vérifier ce procédé, j'ai fait une troisième détermination de la capacité liminaire avec le minimum d'énergie avec une deuxième

1. CLUZET. *Journal de Radiologie et d'Electrologie*, mars 1914.

résistance intercalaire r_1 . On trouve une nouvelle capacité C_3 et on a une nouvelle égalité¹ :

$$(2) \quad RC_1 = (R + r_1)C_3.$$

Or, dans ces conditions, on trouve une valeur de R différente de la valeur trouvée dans la première expérience.

L'égalité (2) se vérifie cependant comme s'était vérifiée l'égalité (1), mais RC_1 de la deuxième expérience se trouve différent de RC_1 de la première, ce qui est absurde. J'ai répété un grand nombre de fois l'expérience sur le biceps, sur le nerf radial au bras, sur le long supinateur. Toujours, j'ai trouvé le même résultat. Voici, pour fixer les idées, les chiffres d'une expérience de ce genre :

Première expérience :

1. Pas de résistance intercalaire $C_1 = 0 \text{ mf}, 03.$
2. Résistance intercalaire de 2450ω $C_2 = 0 \text{ mf}, 02.$

Deuxième expérience :

1. Pas de résistance intercalaire $C_1 = 0 \text{ mf}, 03$
2. Résistance intercalaire de 3825ω $C_2 = 0 \text{ mf}, 01.$

Dans la première expérience on trouve :

$$(1) \quad R \times 0 \text{ mf}, 03 = (R + 2450) \times 0 \text{ mf}, 02$$

d'où l'on tire :

$$R = 4900 \omega.$$

En vérifiant l'égalité on trouve :

$$\begin{aligned} 4900 \times 0 \text{ mf}, 03 &= 147 \\ (4900 + 2450) \times 0 \text{ mf}, 02 &= 147. \end{aligned}$$

L'égalité (1) est donc vérifiée.

Dans la deuxième expérience, on a :

$$(2) \quad R \times 0 \text{ mf}, 03 = (R + 3825) \times 0 \text{ mf}, 01$$

d'où l'on tire :

$$R = 1912 \omega$$

En vérifiant l'égalité (2) on trouve :

$$\begin{aligned} 1912 \omega \times 0 \text{ mf}, 03 &= 57,36 \\ (1912 + 3825) \times 0 \text{ mf}, 01 &= 57,37. \end{aligned}$$

L'égalité est donc encore vérifiée ; mais, dans le premier cas, on trouve que la résistance du sujet est de 4900ω , tandis qu'on ne la trouve

1. G. BOURGUIGNON et A. BARRÉ. Essai de détermination de la chronaxie à travers la peau. *C. R. Soc. de Biologie*, t. LXXVII, p. 486, 17 octobre 1914 et G. BOURGUIGNON. *Journal de Radiologie et d'Électrologie*, t. I, n° 9, mai 1915, pp. 523 et 524.

que de 1912 ω dans le deuxième cas, alors que la capacité chronaxique est restée la même. Le produit RC, caractéristique de l'excitabilité, qui est de 147 dans la première expérience, devient 57,57 dans la deuxième. Nous trouverons donc autant de valeurs de R et de RC que nous ferons d'expériences avec des résistances intercalaires différentes, ce qui est absurde.

Le procédé de Cluzet ne donne donc pas de mesure de la résistance.

Nous sommes arrivés à la même conclusion en substituant à la recherche du minimum d'énergie, la recherche de la capacité donnant le seuil avec le voltage double de celui de la Rhéobase¹.

Considérant, à la suite des expériences que j'ai rapportées, qu'on ne pouvait rien faire sans mettre une résistance en série avec le sujet et qu'on ne pouvait mesurer la résistance pour un courant bref avec un courant prolongé, j'ai cherché à mesurer la somme de la résistance additionnelle et de la résistance du sujet au moyen de décharges de condensateurs. Pour cela, je mettais en dérivation sur l'ensemble du système constitué par le sujet et une résistance en série avec lui, une résistance connue de 10 000 ω ; puis, je mesurais, avec un milliampèremètre étalonné préalablement en balistique², les quantités d'électricité passant par le sujet et par la dérivation.

J'ai pu ainsi mettre en évidence les faits suivants³:

1° En doublant le voltage, on trouve une résistance plus faible que primitivement, pour la branche du sujet. Le fait est constant lorsque la résistance additionnelle dans la branche du sujet est inférieure à 3000 ω . Avec une résistance additionnelle égale ou supérieure à 5000 ω , il arrive que les variations de résistance dans la branche du sujet deviennent négligeables.

2° En revenant au voltage primitif, on retrouve la résistance primitive.

3° Lorsque la résistance a baissé, sous l'influence de l'augmentation du voltage, on la ramène à sa valeur primitive par l'addition d'une résistance qui est quelquefois égale, mais le plus souvent inférieure à la différence mesurée. Cela s'explique par le fait que l'introduction d'une résistance supplémentaire détermine une diminution d'intensité, qui s'accompagne d'une augmentation de la résistance propre du sujet.

Exemple : 2000 ω sont en série dans la branche du sujet.

1. G. BOURGUIGNON et A. BARRÉ. *C. R. Soc. Biologie*, loc. cit.

2. G. BOURGUIGNON. *C. R. de la Soc. de Biologie*, t. LXXXIX, p. 584, 17 juin 1916 et *C. R. Acad. des Sciences*, t. 162, p. 956, 19 juin 1916.

3. G. BOURGUIGNON. *C. R. Soc. Biologie*, t. LXXIX, p. 637, 1^{er} juillet 1916.

VOLTAGE EN VOLTS	CAPACITÉ EN MF	NOMBRE DE DIVISIONS			RÉSISTANCE DE LA BRANCHE DU SUJET
		CIRCUIT GÉNÉRAL	10.000 ω EN DÉRIVATION	BRANCHE DU SUJET	
62	1 mf	17	9	9	10.000 ω
124	0,5	17	8	10	8.000 ω
Addition de 1000 ω dans la branche du sujet.					
124	0,5	17	9	9	10.000 ω
Suppression de la résistance de 1.000 ω .					
62	1 mf	17	9	9	10.000 ω

4° La résistance ainsi mesurée avec la décharge de condensateurs est toujours supérieure à celle qu'on trouve en se servant des courants continus, en employant le procédé de Wertheim Salomonson¹ par exemple.

Mais la résistance additionnelle compensatrice est sensiblement la même dans les deux cas.

Exemple : 3 000 ω sont en série avec le sujet.

VOLTS	MESURE DE LA RÉSISTANCE PAR LE PROCÉDÉ DE WIRTHHEIM SALOMONSON		MESURE DE LA RÉSISTANCE EN CONDENSATEURS			
	ÉLÉMENTS DU CALCUL	R	CAPACITÉ	NOMBRE DE DIVISIONS		R
				10.000 ω EN DÉRIVATION	BRANCHE DU SUJET	
80 v.	$I_1 = 4 \text{ ma. } 5$ $R + 10.000 \omega$ $I_2 = 1 \text{ ma. } 6$	{ 5.500 ω	2 mf	7,5	8	9.500 ω
160 v.	$I_1 = 13 \text{ ma}$ $R + 10.000 \omega$ $I_2 = 3 \text{ ma. } 7$					
Résistance compensatrice ajoutée : 1.000 ω						
160 v.	$I_1 = 10 \text{ m. } 1$ $R + 10.000 \omega$ $I_2 = 3 \text{ ma. } 4$	{ 5.050 ω	2 mf	15	15	10.000 ω

1. Le procédé de WERTHEIM SALOMONSON est le suivant : on mesure l'intensité I_1 pour un voltage déterminé, mais en attendant que l'intensité soit devenue stable; on mesure donc l'intensité finale; puis on ajoute brusquement en série avec le sujet une résistance étalonée r et on mesure la nouvelle intensité I_2 . Le voltage n'ayant pas changé, on a : $RI_1 = (R + r)I_2$, d'où l'on tire la valeur de R (Résistance du sujet) : $R = \frac{r I_2}{I_1 - I_2}$.

Ces faits montrent que la chute de résistance, signalée depuis longtemps par les électrothérapeutes, en fonction de l'augmentation du voltage, se produit aussi bien avec les décharges de condensateurs qu'avec le courant continu. Mais la résistance, sous un même voltage, est plus grande pour la décharge de condensateurs. Il faut donc ne mesurer la résistance, pour chercher la chronaxie, qu'avec les décharges de condensateurs.

Craignant de trop augmenter les voltages nécessaires, j'avais fait des essais pour mesurer la chronaxie avec le montage en série, en mesurant la résistance par ce procédé avec le voltage rhéobasique et la corrigeant ensuite pour le voltage double de celui de la Rhéobase : la résistance en dérivation n'était donc introduite que momentanément pour la mesure de la résistance. Les résultats furent mauvais et je revins au montage en dérivation proposé par L. Lapicque en physiologie animale. J'avais basé sur ces faits un premier procédé de détermination de la chronaxie dans lequel la dérivation restant en permanence, je faisais des mesures et des corrections de résistance¹.

Bien que ce procédé m'ait donné de bons résultats, j'ai vu depuis, que la résistance ainsi mesurée par les décharges de condensateurs n'est pas plus la résistance réelle que celle que l'on mesure avec n'importe quel autre procédé.

En effet, la résistance que l'on trouve ainsi pour le sujet varie avec la résistance ajoutée en série. Plus la résistance ajoutée est grande, plus la résistance qu'on trouve pour le sujet est petite. Il est évident qu'il s'agit là d'une atténuation progressive de la résistance apparente due vraisemblablement à la polarisation, qu'on ne peut considérer comme négligeable, pas plus avec les condensateurs qu'avec les courants continus. La même explication est d'ailleurs valable pour le fait que E. Huet² a démontré, sans l'expliquer, que le seuil galvanique augmente quand on ajoute en série des résistances croissantes. J'ai vérifié le fait à plusieurs reprises. Ce qui varie, ce n'est pas l'intensité liminaire réelle, c'est le rapport entre cette intensité et celle du courant de polarisation que la résistance en série rend de plus en plus petite au fur et à mesure qu'on la prend plus grande.

Il va sans dire que ces expériences ne sont valables que lorsqu'on emploie des résistances additionnelles sans self, comme l'avait fait Huet et comme je l'ai fait moi-même.

Même en opérant avec une résistance additionnelle fixe, on ne trouve pas, pour le sujet, la même résistance en la mesurant avec une grande capacité qu'avec une petite. On observe, dans ces conditions, une

1. G. BOURGUIGNON. *C. R. Soc. Biologie, loc. cit.*, 1^{er} juillet 1916 et *C. R. Académie des Sciences*, t. 163, p. 68, 17 juillet 1916.

2. E. HUET. Considérations sur l'exploration électrodiagnostique de l'excitabilité galvanique des nerfs et des muscles. *Bulletin de la Soc. fr. d'Electrothérapie*, novembre 1895, p. 179 et suivantes.

diminution de la résistance (résistance apparente) du sujet avec la durée de la décharge, qui est tout à fait comparable, quoique moins importante, à celle que je viens d'étudier longuement avec le courant continu.

Avec une même capacité enfin, la résistance mesurée pour le sujet est d'autant plus petite que le voltage employé est plus grand.

On retrouve donc, avec les décharges de condensateurs, les mêmes variations de la résistance apparente en fonction du voltage et en fonction de la durée du passage du courant, qu'avec les courants continus. Les variations sont de même sens dans les deux cas, mais moins importantes avec les condensateurs qu'avec les courants continus. Ce que je viens de dire des ondes brèves des condensateurs est certainement applicable à toutes les ondes brèves. Les hypothèses qui sont à la base du procédé proposé par Cluzet et que j'avais moi-même essayé, sont donc controvées par les faits : *on ne peut pas considérer la résistance comme constante ni la polarisation comme négligeable avec les ondes brèves.*

La conclusion qui s'impose est donc *qu'il n'y a aucun moyen de connaître la résistance du sujet.*

Devant cette impossibilité de connaître la résistance du sujet, j'ai cherché à tourner la difficulté et à prendre la question par une autre face.

III

CHOIX D'UN MONTAGE POUR LA MESURE DE LA CHRONAXIE A TRAVERS LES TÉGUMENTS AVEC LES DÉCHARGES DE CONDENSATEURS

Puisque toutes mes recherches démontrent qu'on ne peut connaître la résistance du sujet, mais qu'on peut atténuer suffisamment les variations de la résistance apparente, et, par suite, les erreurs dues aux variations de l'intensité, j'ai cherché à éliminer la résistance du sujet en le faisant entrer dans un circuit constitué de telle façon que sa résistance propre y devienne négligeable et que ses variations ne modifient pas sensiblement la résistance du circuit.

Le problème ainsi posé, il était évident qu'il fallait revenir au montage de L. Lapique pour la mesure de la chronaxie, c'est-à-dire au montage en dérivation auquel j'étais déjà revenu par une autre voie, mais en choisissant les résistances de telle manière que les mesures de résistance soient supprimées.

Il fallait aussi que le montage, tout en réalisant le double desideratum de l'atténuation suffisante des erreurs dues aux variations de résistance apparente du sujet, et de la fixité de la résistance totale du

circuit, quels que soient le sujet ou la région examinés, permette d'obtenir toujours au moins 15 à 20 milliampères dans la branche du sujet, sans dépasser un voltage maximum de 200 volts.

Le calcul et l'expérience m'ont montré que ces desiderata sont satisfaits avec le montage que j'ai adopté et que je vais maintenant décrire.

CHAPITRE III

TECHNIQUE DE LA MESURE DE LA CHRONAXIE DANS L'EXCITATION PERCUTANÉE

I

INSTRUMENTATION

De tout ce que je viens de dire, il ressort avec évidence que les installations classiques d'électrodiagnostic sont inutilisables pour mesurer la chronaxie. J'ai donc dû créer une installation permettant d'opérer sur l'Homme en toute sécurité avec une source de 200 volts et de satisfaire à toutes les conditions que je viens d'étudier.

Pour déterminer avec certitude la chronaxie dans l'excitation percutanée, il faut, en effet, tenir compte à la fois de la nécessité physique d'avoir un circuit bien isolé, de résistance constante et, pour les condensateurs, connue, et de la nécessité physiologique de faire l'excitation au même point pendant la recherche de la rhéobase et pendant celle de la chronaxie.

Pour réduire au minimum les chances de déplacement de l'opérateur ou du sujet pendant l'expérience, il est préférable d'avoir un aide, de manière à ne laisser à l'opérateur que le minimum possible de manœuvres à faire. Les moindres détails de la disposition de la table, du sujet, de l'opérateur, des électrodes, de l'aide, etc. ont donc la plus grande importance. Il me paraît par conséquent utile de décrire assez minutieusement l'installation que j'ai réalisée.

A. — Table (Voir fig. 8, 9 et 10).

La table est isolée du sol sur des poulies de porcelaine; un tremplin sur poulies de porcelaine supporte les chaises du sujet et de l'opérateur; un tremplin semblable de l'autre côté de la table supporte l'aide que j'ai l'habitude d'employer pour faire le minimum de mouvements pendant les mesures : l'opérateur ne manœuvre que la clef et le renverseur, l'aide manœuvre les condensateurs et le réducteur de potentiel.

Une table perpendiculaire à la table qui supporte les instruments, reposant d'un côté par deux pieds sur le tremplin isolé et pouvant de l'autre rentrer à glissière sous la table principale, permet au sujet et à l'opérateur d'avoir un point d'appui solide qui facilite le relâchement musculaire chez le sujet et évite la fatigue de l'opérateur ainsi que les déplacements de l'électrode qu'il tient à la main. Ces conditions sont indispensables à l'application de la méthode : *il est impossible de*

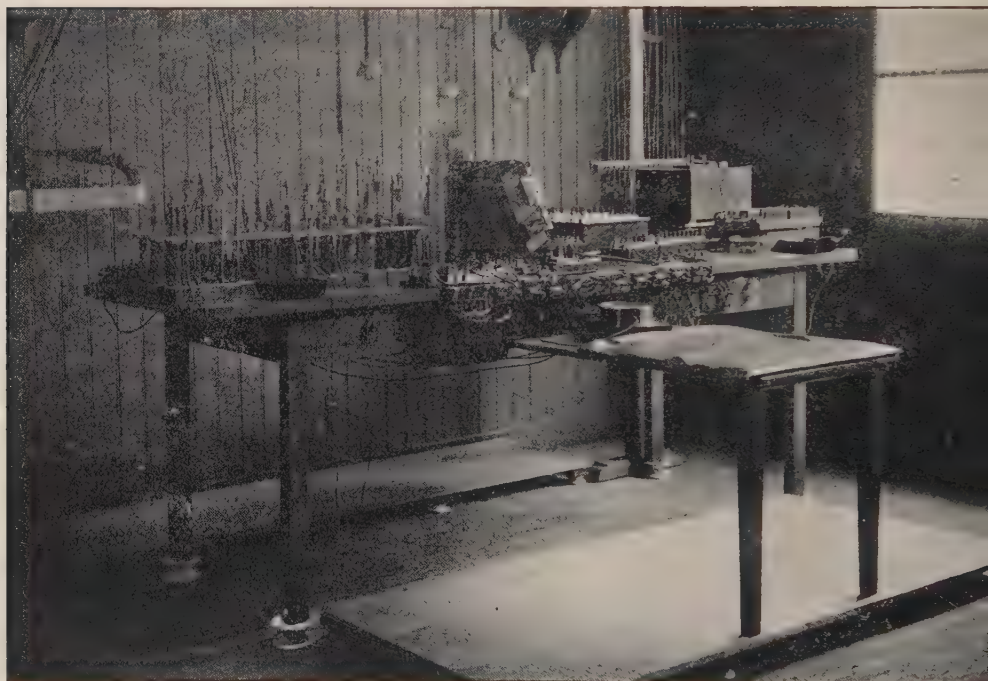


FIG. 8. — TABLE SEULE.

faire une mesure exacte de la chronaxie avec les bras dans le vide comme on travaille d'habitude en électrodiagnostic. Cette table additionnelle porte, en outre, le milliampèremètre qui est ainsi sous les yeux de l'opérateur.

Lorsqu'au lieu d'examiner un sujet assis, on l'examine couché, on rentre sous la table le tremplin, en ne laissant dépasser que juste ce qu'il faut pour la chaise de l'opérateur et la table secondaire qui ne dépasse plus que de ce qu'il faut pour supporter le galvanomètre. Cette manœuvre permet d'approcher le lit sur lequel est le malade. Le lit est isolé du sol par des roulettes en porcelaine. Les figures 8, 9 et 10 font comprendre cette disposition et ces différentes manœuvres.

Cette table secondaire est aussi très pratique pour l'électrophysio-



FIG. 9. — EXAMEN D'UN SUJET ASSIS.



FIG. 10. — EXAMEN D'UN SUJET COUCHÉ.

logie animale : on y dispose les animaux et tout le matériel non électrique de l'expérience.

Sur la table, tous les instruments sont isolés sur ébonite et tous les fils sont à haut isolement et enfilés dans des tubes de caoutchouc sans soudure. Pour avoir de bons contacts je n'emploie, dans la mesure du possible, que des commutateurs à fiche, du même modèle que ceux des boîtes de résistances-étalons.

B. — Électrodes.

Nous avons vu que, dans la détermination de la chronaxie, il est nécessaire que l'excitation se fasse au même point pendant la recherche de la Rhéobase et pendant celle de la Chronaxie.

Sur les nerfs et muscles isolés de l'organisme, cette condition est facile à réaliser.

En méthode monopolaire sur un sujet entier, à travers les téguments, la grande électrode dite indifférente est facile à maintenir en place avec des ceintures élastiques. Mais la fixité de la petite électrode dite active est beaucoup plus difficile à obtenir.

Au premier abord, il semblerait qu'une électrode fixée à la surface de la peau par un lien élastique entourant le membre, permettrait de réaliser cette condition de l'excitation au même point : c'est ce que j'avais tenté tout d'abord.

Une expérience de six années m'a montré que cette fixation de l'électrode est illusoire; si en effet, le lien est assez serré pour empêcher tout déplacement de l'électrode par rapport aux plans profonds, la compression qui en résulte change l'excitabilité. Si, au contraire, le lien est assez lâche pour ne pas produire de compression, l'électrode n'est fixe que par rapport à la peau, mais la peau peut glisser sur les plans profonds, d'où déplacement réel de l'électrode.

La seule manière pratique de faire les excitations au même point est d'employer une électrode tenue à la main par un manche, comme celles qu'on emploie en électrodiagnostic classique et de vérifier, à chaque instant, que l'électrode est bien placée au point d'excitation optima.

Pour avoir des électrodes impolarisables, j'ai fait faire des électrodes d'argent basées sur le principe des électrodes de d'Arsonval, repris par L. Lapique, de la même forme et des mêmes dimensions que les électrodes employées couramment en électrodiagnostic¹. Ces électrodes sont chlorurées électrolytiquement et recouvertes d'amianté imbibée d'une solution de Chlorure de Sodium à 4 p. 1000.

Elles présentent les mêmes dimensions et la même forme que les

1. G. BOURGUIGNON. *Soc. de Biologie*, 14 juin 1913. *Soc. fr. d'Electrothérapie et Radiologie*, juin 1913. *Société de Neurologie*, juin 1915.

électrodes employées actuellement en électrodiagnostic par les électrothérapeutes.

La grande électrode est constituée par une plaque d'argent pur, doublée d'une lame de fibre, qui constitue à la fois un isolant et un soutien pour la plaque d'argent. Le fil conducteur est réuni à l'électrode par une petite borne fixée à l'extrémité d'une tige d'argent qui traverse la fibre et qui est soudée à la plaque d'argent. J'ai fait faire une plaque d'environ 11 cm/9 cm, répondant aux dimensions des plaques les plus usuelles.

Les tampons qui servent d'électrodes différenciées sont constitués par une petite cuvette d'ébonite (voir fig. 11) au fond de laquelle est encastré un disque assez épais d'argent pur dans lequel se visse une tige de cuivre filetée qui traverse l'ébonite et raccorde l'électrode à son manche en bois. Une petite borne, soudée à l'origine de la tige métallique, permet de fixer le fil conducteur. La tige métallique et la borne sont isolées en les enfilant dans un tube de caoutchouc sans soudure.

La plaque et les tampons sont garnis d'une substance absorbante qu'on imbibe d'une solution de NaCl à 4 p. 1000.

Pour avoir une substance absorbante complètement inerte au point de vue électrique, j'ai choisi l'amiante.

La cuvette d'ébonite des tampons, au fond de laquelle se trouve le disque d'argent, est remplie avec de l'amiante filamenteuse dont on se sert en chimie pour filtrer. Il faut l'imbibé de la solution salée avant de la mettre en place pour qu'elle se tasse mieux. Pour la maintenir, je recouvre le tout de toile d'amianté, qu'un fil serre tout autour du tampon et tient bien grâce à une gorge que présente à sa surface extérieure la paroi d'ébonite.

La plaque est recouverte de même d'un coussinet d'amiante filamenteuse qu'on enveloppe avec de la toile d'amiante. La dessiccation est complètement évitée en recouvrant l'électrode d'une lame de caoutchouc. Je fixe la grande électrode au sujet avec deux ceintures au lieu d'une, comme on le fait généralement, pour bien appliquer l'enveloppe de caoutchouc.

Pour rendre ces électrodes impolarisables, il suffit de les chlorurer par électrolyse dans une solution de NaCl dans l'eau distillée à 5 ou 4 p. 1000 pendant quelques heures. Un courant de quelques milliam-pères (10 à 15 mA) est suffisant. Il vaut mieux les chlorurer munies de leur garniture que non garnies, pour éviter la réduction du chlorure d'Ag à la lumière.

J'ai fait faire deux tampons, l'un de 1 cm² de surface, l'autre de 5 cm². Quelques difficultés dans la mesure de la chronaxie des muscles de la paume de la main et des nerfs médian et cubital, au poignet seulement, m'ont amené à utiliser, pour ces nerfs et ces muscles, une toute petite électrode : j'emploie, dans ce but, l'électrode de d'Arsonval (voir fig. 11) qui peut avoir quelques millimètres

carrés de surface seulement. Avec la pratique, il m'apparaît qu'un quatrième tampon plus grand, de 8 à 10 cm² de surface environ serait utile pour l'étude des gros muscles de la face postérieure de la

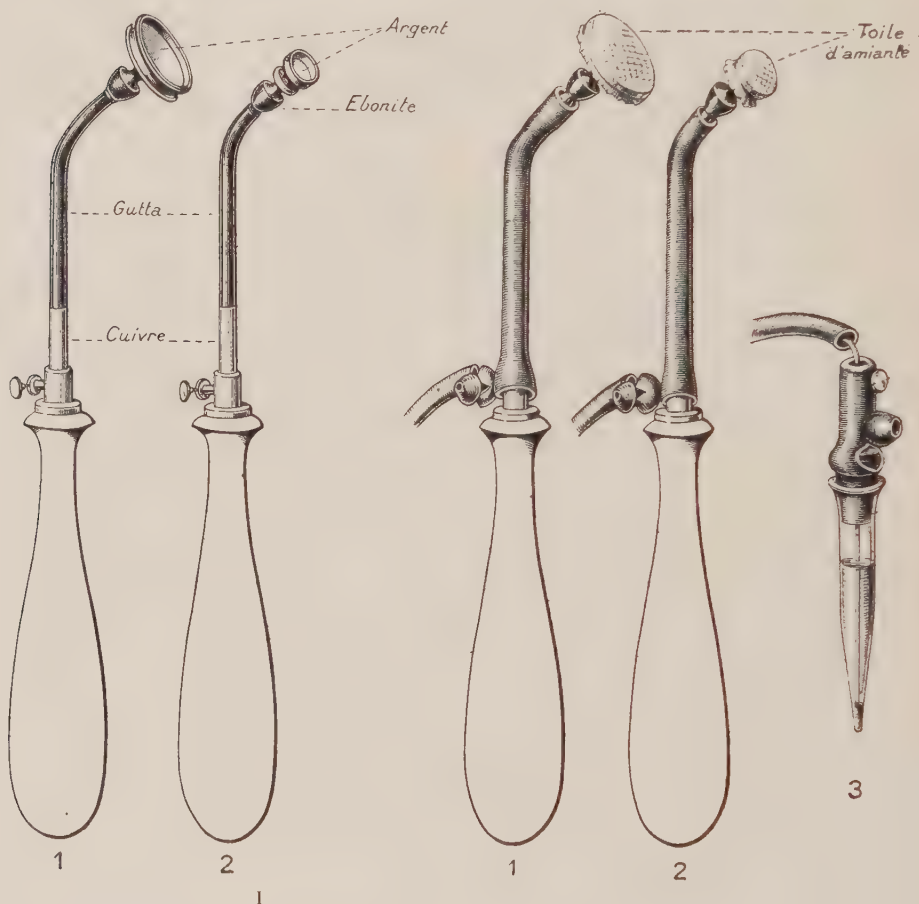


FIG. 11. — ÉLECTRODES DIFFÉRENCIÉES.

1. Tampon de 5^{cm}². 2. Tampon de 1^{cm}². 3. Electrode de d'Arsonval-Lapicque 1/2 grandeur naturelle.

I. Electrodes nues. — II. Electrodes garnies.

Pour bien montrer les gaines de caoutchouc, elles ont été soulevées à leurs extrémités. Sur l'électrode de d'Arsonval-Lapicque, une vis est représentée non garnie et la gaine a été entr'ouverte en bas. En réalité on ne voit aucune partie métallique sur les électrodes garnies.

cuisse, au moins chez certains sujets gras. Jusqu'à présent cependant je m'en suis passé.

C. — Appareils donnant des ondes brèves de durée variable et connue.

Pour déterminer la chronaxie, on peut utiliser deux séries d'instruments : 1° les rhéotomes qui coupent le courant continu au bout de temps variables et bien déterminés : 2° les décharges de condensateurs.

Auxquels de ces procédés faut-il donner la préférence?

Avec les rhéotomes (pistolet de Weiss, égérsimètre de Strohl, chronaximètre de L. Lapique, pour ne citer que les appareils utilisés en France) la mesure du temps est directe : l'appareil laisse passer le courant continu pendant un temps déterminé qui peut varier de quelques 1/10 000 de seconde ou même quelques 1/100 000 de seconde à 1/100 de seconde ou quelques 1/100 de seconde, suivant les appareils.

Théoriquement, l'onde produite étant rectangulaire et facile à connaître dans tous ses éléments, ces appareils paraissent les plus satisfaisants. Pratiquement, la manœuvre des rhéotomes est toujours assez longue, plus ou moins évidemment suivant les appareils, mais toujours plus longue que la manœuvre des condensateurs. Or, nous avons vu qu'à travers les téguments il faut pouvoir, à chaque instant, vérifier la situation de l'électrode active par rapport aux nerfs examinés.

Cette vérification n'est possible que si on peut faire des passages successifs de courant avec une vitesse suffisante. Les condensateurs, qui se manœuvrent simplement avec une clef, permettent facilement cette vérification.

C'est pour ces raisons (rapidité de manœuvre, vérification facile de la situation de l'électrode), que je préfère les condensateurs aux rhéotomes.

Il y a même des expériences physiologiques, dans lesquelles l'excitabilité varie rapidement, qui ne peuvent être réalisées qu'en employant les condensateurs.

L'appareil courant sera donc le condensateur. Le rhéotome balistique sera réservé à des expériences de contrôle. Il est utile d'avoir les deux appareils dans son installation. La table dont je me sers est pourvue d'une batterie de condensateurs et d'un pistolet de Weiss.

Un commutateur bipolaire à deux directions permet d'introduire le pistolet de Weiss et de le substituer instantanément aux condensateurs.

1° Condensateurs. — La batterie de condensateurs est constituée par les capacités suivantes :

0 mf, 01	0 mf, 02	0 mf, 02	0 mf, 05
0 mf, 1	0 mf, 2	0 mf, 2	0 mf, 5
1 mf	2 mf	2 mf	5 mf
10 mf	20 mf	20 mf	

Les petites capacités de 0 mf,01 à 1 mf sont en mica et étain : les capacités supérieures à 1 mf sont en étain et papier paraffiné.

On les associe en parallèle au moyen d'un combinateur.

Cette échelle de capacités permet de mesurer toutes les chronaxies normales et pathologiques. Cependant, pour certaines chronaxies très petites, il serait commode d'avoir une capacité de 0 mf,005.

2° **Rhéotome balistique de Weiss.** — Au lieu de la carabine à acide carbonique dont se servait Weiss, j'emploie, comme l'a fait L. Lapicque, un pistolet qui tire une balle conique genre Bosquette. Au moyen du milliampèremètre dont je dispose, qui fonctionne bien en balistique et donne 4 microcoulombs par division, j'ai mesuré la vitesse de la balle. J'ai obtenu d'excellents résultats. Voici une série de mesures faites pour les distances des fils comprises entre 0 m,05 et 2 mètres.

Expérience du 19 novembre 1919. — Circuit fermé sur les résistances et le milliampèremètre.

DISTANCE DES FILS	NOMBRE DE DIVISIONS	QUANTITÉ EN MICROCOULOMBS	TEMPS EN 1/1000 DE SECONDE	TEMPS EN 1/1000 DE SECONDE POUR PARCOURIR 1 CM	VITESSE PAR SECONDE
V = 200 v R = 1555 ω (avant le court-circuit) + 1000 ω après le court-circuit + 173 ω (résistance du galvanomètre) = 2708 ω .					
I = 0 A,075 I calculée : $\frac{200 \text{ v}}{2708 \omega} = 0 \text{ A},074$.					
0 m 40	32	128	1,7	0,042	238 m
	32,5	130	1,7	0,042	238
	31	124	1,6	0,040	250
0 m 20	18	72	0,96	0,048	208
	17,5	70	0,93	0,046	217
	18	72	0,96	0,048	208
	17,5	70	0,93	0,046	217
0 m 10	8	32	0,43	0,043	232
	8,5	34	0,45	0,045	222
	8,5	34	0,45	0,045	222
	9	36	0,48	0,048	208
	8	32	0,43	0,043	232
0 m 05	4,5	18	0,24	0,048	208
		16	0,21	0,042	238
	4	16	0,21	0,042	238
	4	16	0,21	0,042	238
V 200 v R = 3555 ω + 3015 ω + 173 ω = 6743 ω I = 0 A,030					
I calculée = $\frac{200 \text{ v}}{6743 \omega} = 0 \text{ A},0296$					
1 m	31	124	4,1	0,041	243 m
	32	128	4,3	0,043	232
	32	128	4,3	0,043	232
2 m	61	244	8,13	0,0405	246
	60	240	8	0,040	250

Ainsi, sur 21 mesures faites à des distances comprises entre 5 cm et 2 m, la mesure de la vitesse de la balle a donné des résultats compris entre 208 m et 250 m par seconde, soit 1 cm parcouru entre 0 π ,040 et 0 π ,048. La moyenne arithmétique de ces 21 mesures donne une vitesse de 229 m par seconde, soit 1 cm parcouru en 0 π ,045.

C'est cette valeur moyenne que j'ai adoptée comme coefficient pour calculer les chronaxies mesurées au pistolet : en appelant D la distance des fils mesurée en cm on a :

$$\tau = D \times 0\pi,045.$$

D. — Montage du circuit.

1^o Condensateurs. — Avec les condensateurs, nous avons vu qu'il était nécessaire de connaître la résistance R du circuit. J'ai dit que la résistance du sujet étant impossible à connaître, j'ai tourné la difficulté en cherchant à éliminer la résistance du sujet en l'introduisant dans un circuit tel que sa résistance propre y devienne négligeable.

Il est évident que ce n'est qu'en introduisant le sujet dans un circuit dérivé qu'on peut réaliser ce desideratum.

Dans ces conditions, avec des résistances bien choisies, le circuit a une résistance constante quelle que soit la résistance du sujet examiné : on peut donc comparer les durées de passage du courant au moyen des capacités. Puisque la durée de décharge d'un condensateur est proportionnelle au produit RC de la résistance R du circuit de décharge par la capacité C du condensateur, si R est constant, cette durée ne dépend plus que de C.

J'ai donc repris le montage de Lapicque en en modifiant les résistances (voir fig. 12). Je constitue un circuit dérivé, basé sur les résultats de l'étude des variations de la résistance apparente que nous venons de faire et sur les conditions nécessaires pour obtenir une intensité maxima suffisante dans le sujet. J'ai donc commencé par mettre le sujet et 11 000 ω en série avec lui dans l'une des branches de la dérivation (voir fig. 12).

La résistance en série avec le sujet peut être abaissée à 6 000 ω quand le seuil galvanique est trop élevé ; mais c'est la valeur minima compatible avec une précision suffisante, ainsi qu'il résulte des recherches que j'ai exposées dans les pages précédentes.

Dans l'autre branche de dérivation, j'ai mis une résistance telle que l'intensité maxima (en prenant les 200 volts) dans la branche du sujet soit suffisante, et que, cependant, la résistance réduite ne varie que dans des limites restreintes pour des variations étendues de la résistance de la branche du sujet. Le calcul a montré que 10 000 ω constituent la résistance qui réalise le mieux ces conditions. J'ai choisi 11 000 ω pour la branche du sujet, pour y avoir une résistance un peu

supérieure à celle de l'autre branche. Enfin, pour atténuer les variations de la résistance réduite, encore trop grandes, de ce système, j'ai ajouté une résistance en série dans le circuit général avant la bifurca-

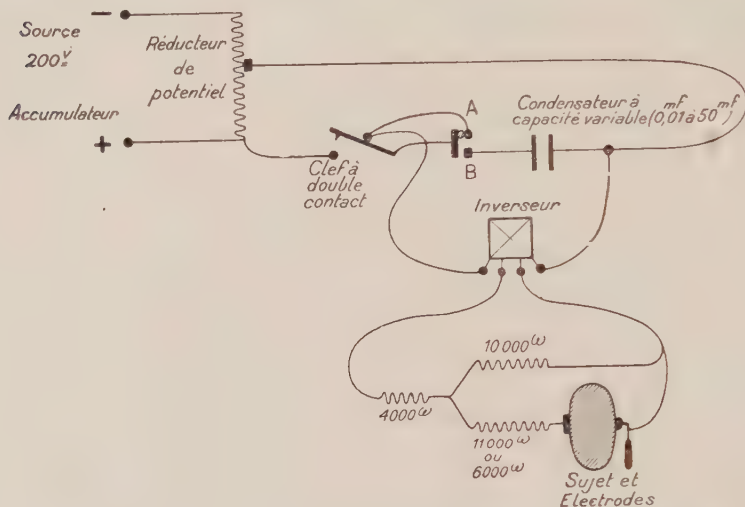


FIG. 12. — SCHÉMA DU MONTAGE POUR LA MESURE DE LA CHRONAXIE AVEC LES CONDENSATEURS.

Commutateur : Fiche en A : courant galvanique. Fiche en B : charge et décharge de condensateurs.

tion. J'ai pris la résistance la plus petite possible permettant d'obtenir une résistance totale constante à 1/10 près environ. Le calcul a montré que 4000 ω étaient la résistance minima réalisant ces conditions.

En résumé, le circuit est ainsi constitué (voir fig. 12) :

10 000 ω dans l'une des branches de la dérivation ;

le sujet et 11 000 ω , qu'on peut remplacer par 6 000 ω en cas de nécessité, en série avec lui dans l'autre branche de la dérivation ;

4 000 ω en série dans le circuit général avant la bifurcation.

Ce circuit a une résistance sensiblement constante, quels que soient le sujet ou la région examinés, et quelles que soient les variations de la résistance apparente du sujet.

En effet, le calcul montre qu'en attribuant au sujet des variations de résistance comprises entre 2000 ω et 50 000 ω , la résistance réduite varie de 5 650 ω à 8 590 ω et la résistance totale varie de 9 650 ω à 12 590 ω ; ce qui revient à dire qu'elle est approchée à environ 1/10 près par défaut ou par excès d'une valeur moyenne de 11 000 ω . Voici le calcul :

La résistance réduite se mesurant par $\frac{r \cdot r'}{r + r'}$, en appelant r la résistance de 10 000 ω en dérivation et r' la somme de la résistance de 11 000 ω et de celle du sujet et des électrodes, on obtient, en attribuant à la somme de la résistance du sujet et des électrodes, une valeur de 2 000 ω ou de 50 000 ω les résultats suivants :

1^o Sujet = 2 000 ω .

$$r' = 11\,000\ \omega + 2000\ \omega = 13\,000\ \omega \quad \frac{r \times r'}{r + r'} = \frac{10\,000\ \omega \times 13\,000\ \omega}{10\,000\ \omega + 13\,000\ \omega} = 5650\ \omega.$$

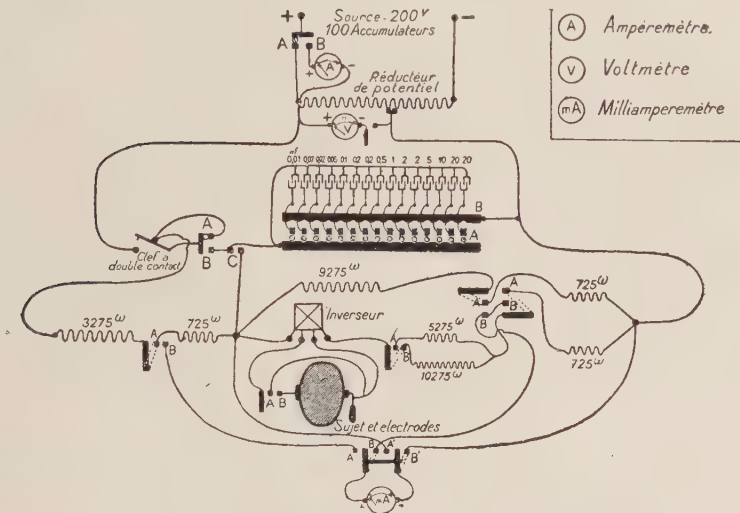


FIG. 13. — SCHÉMA DE LA TABLE DE CHRONAXIE.

Commutateur de la clef :

- Fiche en A : courant galvanique.
- Fiche en B : charge et décharge de condensateurs.
- Fiche en A et fiche en C : courant galvanique avec condensateurs en dérivation.

Commutateur du milliampèremètre :

- Position AA' : le milliampèremètre est prêt à être introduit dans le circuit général.
- Position BB' : le galvanomètre est prêt à être introduit dans l'une ou l'autre branche du circuit bifurqué.

Commutateurs du circuit général et des branches de dérivation :

- Fiche en A : milliampèremètre exclu de la branche correspondante. Résistance égale à lui introduite.
- Fiche en B : milliampèremètre introduit dans la branche correspondante. Résistance égale à lui exclue.

Commutateur de la résistance en série avec le sujet :

- Fiche en A : $R = 6000\ \omega$.
- Fiche en B : $R = 11\,000\ \omega$.

Commutateur du sujet :

- Fiche en A : le sujet est exclu du circuit : la table est alors fermée par un fil ; ce commutateur est utile pour la vérification des instruments.
- Fiche en B : le sujet est en circuit.

Commutateur de l'ampèremètre mesurant le débit dans le réducteur du potentiel :

- Fiche en A : l'ampèremètre est exclu.
- Fiche en B : l'ampèremètre est introduit.

Combinatoire des condensateurs :

- Fiches en A : capacités correspondantes introduites.
- Fiches en B : capacités correspondantes exclues et fermées sur elles-mêmes.

2^o Sujet = 50 000 ω .

$$r' = 11\,000\ \omega + 50\,000\ \omega = 61\,000\ \omega \quad \frac{r \times r'}{r + r'} = \frac{10\,000\ \omega \times 61\,000\ \omega}{10\,000\ \omega + 61\,000\ \omega} = 8590\ \omega.$$

Dans ces conditions, la résistance totale R du circuit est la somme de cette résistance réduite et des 4000ω en série dans le circuit général. On a donc :

$$1^{\circ} \text{ Sujet} = 2000 \omega \quad R = 5690 \omega + 4000 \omega = 9690 \omega.$$

$$2^{\circ} \text{ Sujet} = 50000 \omega \quad R = 8590 \omega + 4000 \omega = 12590 \omega.$$

La valeur moyenne entre ces chiffres extrêmes est de 11000ω , exactement 11140ω ; cette valeur moyenne est approchée de 1/10 environ par excès ou par défaut des valeurs extrêmes.

Le même calcul appliqué au cas où on prend 6000ω en série avec le sujet au lieu de 11000ω , montre que la résistance totale est comprise entre les mêmes limites qu'avec 11000ω pour des variations du sujet de 5000ω à 50000ω . Il n'y a donc que pour le cas, vraiment exceptionnel où la somme des résistances du sujet et des électrodes descend à 2000ω que l'approximation est moindre : encore est-elle de 20 pour 100 environ au lieu de 10 pour 100, c'est-à-dire encore très acceptable.

On peut donc admettre que le circuit a une résistance fixe de 11000ω . De fait, l'expérience montre que, dans ce circuit, la capacité chronaxique est sensiblement la même chez tous les sujets normaux pour un muscle ou un nerf donnés.

Pour simplifier les calculs, j'ai substitué à la formule générale de L. Lapicque ($\tau = RC \times 0,57$) une formule plus simple applicable à ce cas particulier où $R = 11000 \omega$. Une chronaxie mesurée par 1 mfa, en effet, comme valeur $\tau = 110000 \omega \times 0 \text{ mf}, 000001 \times 0,57 = 0 \text{ s}, 004$. Il suffit donc de multiplier la capacité chronaxique par $0 \text{ s}, 004$ pour connaître la chronaxie, ce qui s'exprime par la formule simple suivante :

$$\tau = C\tau \times 4\sigma,$$

en exprimant les capacités en microfarads et les temps en 1/1000 de seconde.

J'ai vérifié expérimentalement au pistolet de Weiss le coefficient calculé 4σ ¹.

Primitivement, les résistances additionnelles du circuit d'utilisation étaient des résistances liquides, impolarisables et sans self, au cuivre et sulfate de cuivre, montées dans des tubes en U. Actuellement j'emploie les résistances métalliques à simple enroulement des boîtes industrielles de Carpentier; l'expérience m'a montré que leur légère self ne trouble pas les mesures de chronaxie².

Le schéma de montage de la table (voir fig. 13) ne diffère du schéma théorique (fig. 12) que par l'addition d'un milliampèremètre qu'un jeu très simple de commutateurs permet d'introduire dans l'une

1. G. BOURGUIGNON et H. LAUGIER. *Soc. de Biologie*, 5 mars 1921.

2. G. BOURGUIGNON. *C. R. de la Soc. de Biologie*, t. LXXXIV, p. 787, 30 avril 1921.

ou l'autre des trois branches du circuit. Dans chaque branche une résistance égale à celle du milliampèremètre (725ω dans le cas particulier) s'introduit ou se retire automatiquement quand on retire ou introduit le milliampèremètre, de sorte qu'il n'y a aucun calcul de correction à faire. Le schéma de la figure 13 fait comprendre ce mécanisme mieux que toute description. Le schéma comporte en outre un commutateur pour l'emploi des condensateurs en dérivation suivant le procédé de L. Lapicque.

2° **Rhéotome balistique de Weiss.** — Avec le rhéotome balistique de Weiss, il suffit de stabiliser l'intensité sans qu'il y ait besoin de connaître la valeur de la résistance, puisque la mesure de la durée du courant est indépendante de la résistance du circuit. On peut donc opérer avec le montage en série. Grâce au commutateur dont j'ai parlé, on peut intercaler le pistolet de Weiss dans le circuit; on maintient la clé fermée; on coupe la dérivation, et on remplace au moyen d'un commutateur la résistance de $4\,000\omega$ par une résistance de $10\,000\omega$. Le montage réalise alors celui de Weiss, comme le représente le schéma de la figure 14.

La seule différence avec le montage de Weiss est que les résistances additionnelles sont chacune de $10\,000\omega$ au lieu de chacune $100\,000\omega$ à $500\,000\omega$.

Lorsque le sujet est traversé par le courant, il se trouve en série avec $20\,000\omega$ ce qui assure la proportionnalité de l'intensité au voltage. Si la rhéobase est trop élevée, on peut abaisser la résistance à $15\,000\omega$ et même à $10\,000\omega$.

J'ai aussi employé le pistolet de Weiss sans rien changer au circuit employé avec les condensateurs. J'ai pu ainsi prendre sur le même muscle ou sur le même nerf la chronaxie au pistolet et aux condensateurs sans changer de rhéobase.

E. — Clef et renverseur.

Un commutateur à fiche à deux directions permet d'employer une même clef à double contact comme clef de charge et décharge des condensateurs ou comme pédale simple pour faire les fermetures et

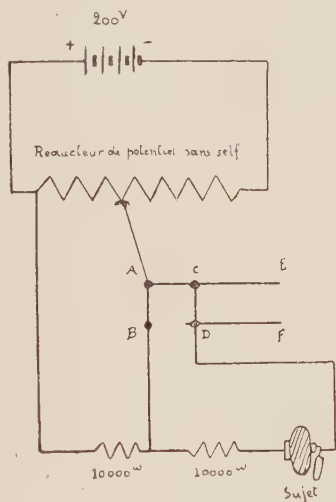


FIG. 14.

SCHÉMA DU MONTAGE
POUR L'APPLICATION DU PISTOLET
DE WEISS A L'HOMME.

AB : 1^{er} fil coupé par la balle.

CD : 2^e fil coupé par la balle.

AE et DF : conducteurs le long desquels on peut déplacer le 2^e fil.

ouvertures du courant galvanique. Dans l'une des positions de la fiche (voir les fig. 12 et 13) l'un des contacts de la clef est court-circuité et les condensateurs sont exclus du circuit : la clef fonctionne comme pédale simple. Un arrêt permet de la maintenir fermée lorsque les coupures sont faites avec le pistolet. Dans la deuxième position de la fiche, les condensateurs sont introduits dans le circuit et le court-circuit de l'un des contacts est supprimé : la clef fonctionne comme clef de charge et décharge.

Un renverseur est placé dans la branche du sujet de façon que le millampèremètre ne soit pas soumis aux renversements du courant quelle que soit la portion du circuit dans laquelle il est introduit (voir fig. 13). Cette disposition n'est possible que lorsqu'on emploie des résistances métalliques. Avec les résistances liquides, au contraire, il est utile de les soumettre aux renversements du courant : le renverseur doit donc être placé dans le circuit général comme sur le schéma de la fig. 12. Dans ce cas, un deuxième renverseur doit être annexé au milliampèremètre pour redresser le courant dans le galvanomètre lorsqu'on renverse le courant.

F. — Source et réducteur de potentiel.

Le réducteur de potentiel est le réducteur à plots de Lapicque dont les résistances ont été modifiées de manière à fonctionner avec 200 volts en graduant le voltage par 0 v, 5. Il est monté sur un pivot de telle sorte qu'on peut, le cas échéant, le tourner vers l'opérateur pour opérer sans aide.

La résistance totale du réducteur de potentiel est fractionnée en portions égales et chaque plot permet de prendre une de ces portions.

Les 19/20 de la résistance totale sont divisés en 19 parties reliées chacune à un plot d'un premier collecteur qui comprend 19 plots. Le dernier 1/20 est divisé en 20 portions égales reliées chacune à un plot d'un deuxième collecteur qui comprend 20 plots.

Le fil, de résistance négligeable, qui unit ces deux portions du réducteur, est relié au plot 0 de chacun des deux collecteurs.

Le centre de l'un des collecteurs est relié à la borne + du circuit d'utilisation et le centre du deuxième collecteur est relié à la borne — du même circuit.

Lorsque les manettes des deux collecteurs sont au plot 0 il ne peut passer aucun courant dans le circuit d'utilisation. Lorsque l'on déplace la manette du premier collecteur, on introduit, à l'origine du circuit d'utilisation, 1/20 de la résistance du réducteur par plot. Avec le deuxième collecteur, on introduit 1/400 de cette même résistance.

Il est clair que, si l'intensité qui traverse le réducteur de potentiel est constante, la différence de potentiel à l'origine du circuit est proportionnelle au nombre des plots. Si donc le voltage total est de

200 v, chaque plot du premier collecteur donne 10 v et permet de monter de 0 v à 190 v par 10 volts; chaque plot du deuxième collecteur partageant le dernier 1/20 de la résistance du réducteur en 20 parties égales, permet de prendre 0 v, 5 par plot.

Un tel réducteur de potentiel permet une recherche des seuils beaucoup plus rapide qu'un réducteur ordinaire qui ne permet qu'une recherche par tâtonnement.

Lorsqu'on emploie le réducteur de potentiel pour charger les condensateurs à un voltage déterminé, la résistance des condensateurs étant théoriquement infinie, le réducteur de potentiel fonctionne toujours comme je viens de le dire.

Mais, quand on se sert du réducteur de potentiel pour graduer le courant galvanique, il ne fonctionne ainsi qu'à condition que le rapport de la résistance du réducteur de potentiel à celle du circuit d'utilisation soit suffisamment grand pour que la fermeture du circuit d'utilisation ne modifie pas sensiblement l'intensité qui traverse le réducteur.

Le circuit d'utilisation ayant 11.000 ω de résistance, le calcul montre qu'il ne faut pas que la résistance du réducteur de potentiel dépasse 400 ω à 500 ω pour graduer le voltage avec précision dans l'emploi du courant galvanique.

Ayant mis un ampèremètre dans le circuit du réducteur de potentiel (voir fig. 12 et 13) dans un but de vérification du circuit, j'ai pu vérifier expérimentalement que l'intensité dans le réducteur de potentiel varie de moins de 2 pour 100 quand on ferme le circuit d'utilisation; mais en donnant au circuit d'utilisation une résistance plus faible, l'écart devient non négligeable.

Voici cette expérience :

RÉSISTANCE DU CIRCUIT D'UTILISATION.	VOLTAGE	INTENSITÉ DANS LE RÉDUCTEUR		VARIATION
		CIRCUIT D'UTILISATION ÉTANT OUVERT.	CIRCUIT D'UTILISATION ÉTANT FERMÉ.	
11.000 ω	200 v.	0 A,57	0 A,58	1,7 ‰
	20 v.	0 A,57	0 A,5725	0,45 ‰
6.000 ω	200 v.	0 A,57	0 A,60	5,2 ‰
	20 v.	0 A,57	0 A,575	1 ‰
3.000 ω	200 v.	0 A,57	0 A,63	10,5 ‰
	200 v.	0 A,57	0 A,65	14,2 ‰
2.000 ω	200 v.	0 A,57	0 A,59	3,7 ‰

Un réducteur de potentiel de 400 ω à 500 ω donne donc un très bon résultat.

Un tel réducteur débitera donc, avec une source d'environ 200 volts, de 0A, 5 à 0A, 6. L'importance du débit entraîne, comme conséquence, qu'on ne peut pas utiliser des piles comme source d'électri-

cité, mais seulement des accumulateurs ou les secteurs de 220 v à courant continu ou une dynamo fournissant ce potentiel.

Il ne me paraît pas sans danger de se monter sur les secteurs à cause de la mise à la terre si facile. D'autre part les dynamos, comme les secteurs, donnent toujours un courant plus ou moins ondulé. Il n'y a donc que les accumulateurs qui soient utilisables. On prendra comme source une batterie de 100 accumulateurs qu'en entretiendra constamment en bon état de charge, en les chargeant régulièrement tous les jours.

La batterie sera bien isolée. On pourra se servir du secteur pour les charges, mais en faisant le montage de manière que toute communication entre le secteur et la batterie soit coupée pendant l'utilisation. Il est bien entendu qu'on ne travaillera jamais sur l'Homme pendant que les accumulateurs seront en charge.

Régularité du débit, constance du potentiel, débit suffisant, sécurité, tels sont les avantages que présentent les accumulateurs. Ces avantages que ne possède aucune autre source, compensent largement le soin que réclame l'entretien des accumulateurs.

G. — Commutateurs accessoires.

A cette installation j'ai ajouté deux commutateurs qui n'ont pas d'utilité immédiate pour la mesure de la chronaxie, mais qui rendent des services sur lesquels je désire appeler l'attention. Ils sont figurés sur le schéma de la fig. 13.

1° Condensateurs en dérivation. — Un commutateur à fiche, dont le rôle est facile à voir sur le schéma, permet de monter la batterie de condensateurs en dérivation sur la branche du sujet, pour obtenir des courants progressifs suivant le procédé de L. Lapicque¹. Si ce dispositif n'est pas utile pour la mesure de la chronaxie il rend de grands services dans l'étude qualitative des contractions pathologiques.

2° Court-circuit du sujet. — Un 2^e commutateur permet de substituer au sujet et aux électrodes un simple fil, c'est-à-dire qu'on peut fermer la table sur elle-même, comme on la voit sur le schéma de la fig. 13. Cette disposition est des plus utiles pour la vérification des instruments en cours d'expérience, et pour l'étude purement physique de l'instrumentation.

Telle est l'instrumentation qui m'a servi à faire toutes mes recherches sur la chronaxie chez l'homme.

1. L. LAPICQUE. Techniques nouvelles pour l'électrodiagnostic. *C. R. Acad. des Sciences*, t. 161, p. 643, 22 novembre 1915.

II

TECHNIQUE

A. — Considérations générales.

La mesure de la chronaxie est, en principe, très simple.

L'aide manœuvre le réducteur de potentiel et le combinateur des condensateurs.

L'opérateur ne s'occupe que de la clef, du renverseur et de la fiche qui donne le courant galvanique ou les condensateurs. Dans ces conditions, il ne fait aucun mouvement inutile et peut concentrer toute son attention sur le muscle examiné. L'aide présente encore cet avantage de rendre la mesure du seuil très objective : l'opérateur en effet se contente de demander qu'on augmente ou diminue l'intensité ou la durée du courant. Il ignore donc toujours où il en est exactement et cela le met à l'abri, au moment d'une vérification par exemple, de l'illusion que peut créer l'idée préconçue qu'on doit trouver le seuil avec tel voltage ou telle capacité. Si l'on veut mesurer la Rhéobase en mA, on a de plus à manier la fiche qui introduit le galvanomètre dans la branche du sujet, le commutateur du galvanomètre étant placé d'avance de manière à pouvoir l'introduire dans l'une ou l'autre des branches de la portion bifurquée du circuit (voir fig. 13).

La fiche du commutateur de la clef étant en A (voir fig. 12 et 13) on cherche le seuil galvanique en faisant autant de passages dans un sens que dans l'autre au moyen du renverseur. Lorsqu'on l'a obtenu, on lit le voltage et on le double. On fait passer la fiche du commutateur de A en B (voir fig. 12 et 13) et on cherche la capacité qui donne le seuil avec ce voltage double. Si le seuil galvanique est trop élevé, en déplaçant une fiche, on remplace les 11.000 ω de la branche du sujet par 6000 ω . Si, malgré cela, on ne peut pas doubler le voltage, on cherche la capacité qui donne le seuil avec le voltage maximum, soit 200 v, et on applique un calcul très simple, tiré de la loi de Hoorweg, dont on connaît C, V et b :

$$CV = a + bC \quad a = CV - bC = C(V - b).$$

Pour connaître $C\tau$, il n'y a donc qu'à faire la petite opération suivante :

$$C\tau = \frac{a}{b} = \frac{C(V - b)}{b}.$$

On peut employer le même procédé lorsque, ne disposant pas de série de capacités par 1/1000 de microfarad, on veut préciser un seuil compris entre deux petites capacités inférieures à quelques 1/100 de microfarad.

Par exemple, avec le voltage double de la Rhéobase un seuil est compris entre 0 mf. 02 et 0 mf. 03 : on cherche le voltage liminaire pour 0 mf. 03 et on applique le calcul ci-dessus.

La chronaxie calculée n'a pas la précision de la chronaxie mesurée directement, mais si l'écart entre V et b est égal ou supérieur à celui qui sépare b de $b + 1/2$, la précision est suffisante, surtout avec les muscles pathologiques de très grande chronaxie, très différente de la normale. L'erreur que l'on peut faire ainsi sur la valeur absolue de la chronaxie du nerf ou du muscle étudié devient négligeable et ne change rien aux conclusions que l'on tire de l'altération de la chronaxie. La précision est très grande dans le cas où on emploie ce procédé pour préciser une petite chronaxie comprise entre deux petites capacités, comme dans l'exemple choisi.

Actuellement, la mesure de la chronaxie est possible non seulement pour les muscles squelettiques et leurs nerfs moteurs, mais encore pour les nerfs sensitifs périphériques.

Dans cette étude, je n'envisage que la mesure de la chronaxie en méthode monopolaire avec le pôle négatif.

Je place la grande électrode, reliée au pôle positif, au-devant de la poitrine, sur le sternum, au lieu de la placer en arrière sur la colonne vertébrale, comme on le fait le plus souvent. Avec la disposition que j'ai adoptée, qui est celle qu'employait Erb, on est à l'abri d'excitations possibles au niveau des racines rachidiennes, excitations qui pourraient dans certains cas, troubler les résultats. La petite électrode, négative, est placée au point moteur du muscle ou sur le trajet du nerf, moteur ou sensitif, qu'on veut étudier.

Dans tous les cas, tout en ne tenant compte que des excitations produites lorsque la petite électrode est négative, il faut toujours faire autant de passages de courant dans un sens que dans l'autre, pour détruire les polarisations. Cette précaution est indispensable, non seulement au point de vue de la polarisation des tissus, mais aussi au point de vue de l'entretien des électrodes impolarisables que j'emploie. Dans certains cas, j'ai cherché la chronaxie avec la petite électrode positive.

Ces données générales étant posées, nous pouvons aborder l'étude de la technique de la mesure de la chronaxie des systèmes neuromusculaires cérébro-spinaux et des nerfs sensitifs.

B. — Chronaxie des muscles squelettiques et des nerfs moteurs périphériques.

La technique d'une mesure de chronaxie est simple, en principe, mais présente certaines difficultés pratiques.

Il faut d'abord déterminer avec soin la situation du point moteur du muscle ou du point d'élection du nerf dont on veut mesurer la

chronaxie. Il arrive quelquefois, dans l'excitation au point moteur du muscle, qu'après avoir déterminé le point moteur avec le courant galvanique et mesuré la Rhéobase, on n'arrive pas à trouver de capacité efficace avec le double du voltage rhéobasique ou bien on trouve une capacité très grande qui est une erreur manifeste.

L'expérience montre que la zone où l'on obtient le seuil avec l'intensité la plus petite possible avec le courant continu a une surface plus grande que celle où l'on obtient le seuil avec l'intensité la plus petite possible avec un courant bref. Les deux zones sont d'ailleurs concentriques, la zone pour le courant prolongé débordant la zone pour le courant bref.

Voici comment on fait cette expérience : on place l'électrode à la surface d'un muscle donné, en un point situé un peu à côté de la zone présumée du point moteur et on cherche l'intensité qui donne le seuil avec le courant galvanique. Ensuite, on déplace l'électrode vers le point moteur. L'intensité, qui était liminaire, donne maintenant une secousse plus grande que le seuil. On détermine de nouveau le seuil et ainsi de suite en se rapprochant toujours davantage du centre du point moteur. On arrive ainsi à délimiter une zone dans laquelle la Rhéobase est la plus petite possible, malgré qu'on fasse de légers déplacements de l'électrode : en cette zone, pour des positions différentes de l'électrode mais très voisines les unes des autres ou bien il n'y a pas de secousse ou bien le seuil galvanique est le même et le plus petit possible. La zone ainsi délimitée a une surface variable avec le muscle considéré mais toujours assez grande (1 à 2 cm. de diamètre souvent). Si on refait la même expérience avec un courant bref, la décharge d'un condensateur de 0 mf,1 par exemple (pour des muscles normaux) et qu'on cherche de la même façon la zone où le voltage liminaire est le plus petit possible, on délimite une nouvelle zone dans laquelle ou bien on n'obtient aucune secousse ou bien on trouve toujours le même voltage liminaire qui est, par conséquent, le plus petit possible. *On constate que cette même zone délimitée avec le courant bref a le même centre que la zone délimitée avec le courant galvanique. Mais elle a une surface plus petite et constitue un cercle inscrit dans le premier.*

L'explication la plus vraisemblable de ce fait est que les courants brefs diffusent moins que les courants prolongés.

Il résulte de ces faits qu'on obtient de meilleurs résultats en cherchant la Rhéobase la plus petite et la Chronaxie la plus petite pour cette Rhéobase doublée en enlevant l'électrode entre les deux mesures et en la replaçant au point d'excitation optima qu'en cherchant à maintenir rigoureusement l'électrode à la même place pendant les deux mesures. C'est, sous une autre forme, la vérification du point moteur dont j'ai déjà parlé, que permet seule l'électrode tenue à la main.

Lorsqu'on se trouve en présence de la difficulté que je viens

d'exposer, il faut chercher le point moteur non pas avec le courant galvanique mais avec la décharge d'une petite capacité (0mf,1 à 0mf,2 par exemple pour des muscles normaux). Ensuite, on cherche la Rhéobase, on double le voltage rhéobasique et on trouve alors facilement la capacité qui donne le seuil avec ce voltage rhéobasique doublé. Cette difficulté ne se rencontre pas avec la même fréquence sur tous les muscles ni sur tous les sujets.

Lorsqu'on a une grande habitude des explorations percutanées, ce n'est qu'exceptionnellement qu'il faut recourir à ce mode de détermination du point moteur, qui allonge un peu le temps demandé par une mesure. Lorsqu'on n'est pas encore très familiarisé avec la technique, il faut systématiquement chercher le point moteur comme je viens de l'indiquer.

Pour donner de la certitude aux mesures, il est nécessaire, après avoir mesuré la chronaxie, de vérifier que la Rhéobase n'a pas varié.

La mesure d'une chronaxie à travers les téguments est donc une opération délicate qu'on ne réussit pas du premier coup quand on n'est pas rompu aux explorations électriques sur l'Homme. Mais lorsqu'on a bien en main la technique, lorsqu'on connaît toutes les causes d'erreur à éviter, dans le détail desquelles la pratique seule permet d'entrer, on est étonné de la précision à laquelle on arrive.

C. — Chronaxie des nerfs sensitifs périphériques.

Des recherches récentes que j'ai poursuivies avec la collaboration de A. Radovici m'ont permis d'établir une technique de mesure de la chronaxie des nerfs sensitifs¹.

Nous avons dû renoncer, au moins provisoirement à mesurer la chronaxie par l'excitation des terminaisons sensitives de la peau. Ces terminaisons, en effet, sont de nature diverse et il est vraisemblable que les terminaisons thermiques n'ont pas la même chronaxie que les terminaisons affectées à la sensibilité au contact ou à la sensibilité à la douleur.

De fait il est impossible d'éprouver la sensation produite par la décharge d'un condensateur au même point que celle que produit la fermeture d'un courant prolongé. Ainsi, fréquemment, le courant galvanique employé pour la recherche de la Rhéobase donne une sensation sous l'électrode placée, par exemple, à la face palmaire d'un doigt alors que la décharge des condensateurs employée pour la recherche de la chronaxie, donne une sensation de choc sur la face opposée à celle où est placée l'électrode. Il en résulte que les chronaxies qu'on trouve sont variables d'une expérience à l'autre pour une même région. C'est sur moi-même que j'ai constaté ces faits.

1. G. BOURGUIGNON et A. RADOVICI. *Ac. des Sciences, loc. cit.* 19 décembre 1921.

Les recherches très intéressantes mais tout empiriques¹ de Le Dantec confirment cette difficulté de mesurer la chronaxie sensitive par excitation des terminaisons sensibles de la peau. Il a montré, en effet, que le courant galvanique excite surtout les terminaisons sensibles thermiques et le courant faradique les terminaisons sensibles tactiles, le premier donnant surtout une sensation de chaleur et le dernier donnant surtout une sensation de choc.

Pour résoudre cette difficulté, nous avons pensé à substituer à l'excitation des terminaisons sensibles, l'excitation des troncs mêmes des nerfs sensitifs. En effet, lorsqu'on place une électrode sur le trajet d'un nerf sensitif pur ou mixte, la fermeture du courant, lorsque l'intensité est suffisante, détermine une sensation de fourmillement qui *se propage tout le long du nerf* et envahit tout le territoire d'innervation cutanée du nerf étudié. Jamais, avec les intensités que nous avons employées, nous n'avons observé de sensations thermiques dans le territoire d'innervation. Avec le courant prolongé, c'est une sensation de fourmillement. Avec les courants brefs, c'est plutôt une sensation de choc. Il est remarquable, et c'est à l'heure actuelle un fait purement empirique, que l'excitation électrique produit une sensation *qui part du niveau où se trouve l'électrode et se propage en descendant tout le long du nerf* jusqu'à son épanouissement au niveau de la zone d'innervation cutanée, sans jamais remonter dans le nerf vers les centres, alors qu'*a priori*, on aurait pu penser que l'excitation du tronc d'un nerf devait donner une sensation localisée exclusivement à la périphérie.

Quand l'intensité est suffisamment élevée, on excite la totalité des fibres du nerf sensitif et les fourmillements couvrent exactement tout le territoire d'innervation que le sujet peut dessiner sur sa peau en indiquant les limites du fourmillement. Au seuil, on n'excite au contraire que quelques fibres, et le fourmillement se localise en un point précis du territoire du nerf excité. Ce fait est très important parce que si, au cours de l'expérience, l'électrode se déplace un peu, le fourmillement ne se localise plus au même point et il ne faut tenir compte que des excitations produisant la sensation de fourmillement toujours au même point, qu'on retrouve en déplaçant très légèrement l'électrode.

C'est sur ces faits que nous avons basé notre technique de mesure de la chronaxie sensitive. La technique est exactement la même que pour la recherche de la chronaxie des muscles et des nerfs moteurs. Nous avons employé la méthode monopolaire et nous nous sommes servi des mêmes électrodes (Ag et Ag Cl)². L'électrode indifférente est placée sur le devant de la poitrine, l'électrode active est le tampon

1. LE DANTEC. *Dissociation électro-physiologique de la sensibilité*. Bordeaux. Imprimeries Gounouilhau, 1919.

2. G. BOURGUIGNON. *Loc. cit.*

le plus petit qu'on applique sur le point d'excitation du nerf sensitif étudié. On fait des passages de courant alternativement dans les deux sens, mais on ne tient compte que des excitations produites par le pôle négatif qui donne le seuil d'ailleurs avec une intensité plus petite que le pôle positif (pôle négatif virtuel).

Il faut, lorsqu'on examine un sujet pour la première fois, lui faire bien voir qu'avec un courant assez fort il y a deux sensations, l'une sous l'électrode dont il ne doit pas tenir compte et l'autre à distance, la seule dont il doive s'occuper. Tous les sujets que nous avons examinés se sont tout de suite rendu compte de ce qu'on leur disait. Il est bon de mettre le sujet à l'abri de toute distraction : pour cela, on lui demande de fermer les yeux, ou, mieux, on les lui bande et on évite pendant toute l'expérience de lui parler et de faire du bruit. Il faut donc manœuvrer doucement la clef, le renverseur et les fiches ou manettes des commutateurs. Moins le sujet sera distrait, mieux les choses marcheront. Dans certains cas, par exemple, pour faire quelques recherches de contrôle avec le pistolet, nous mettons du coton bien serré dans les oreilles du sujet.

Lorsqu'on excite un nerf mixte, la Rhéobase des fibres sensitives est toujours inférieure à celle des fibres motrices. On obtient donc le seuil de la sensation bien avant la moindre contraction musculaire : cette circonstance est très favorable à la recherche des seuils sensitifs qui ne sont troublés par aucune sensation d'origine musculaire.

La technique est donc très simple et la même que pour les muscles et nerfs moteurs. Après avoir déterminé le point d'élection du nerf examiné à l'aide d'un courant assez fort on recherche, en faisant des passages de courant alternativement dans les deux sens, le seuil du fourmillement avec le courant galvanique : on trouve ainsi le voltage rhéobasique. On le double et on cherche la capacité qui donne le seuil de la sensation de choc avec ce voltage, toujours en faisant des passages alternativement dans les deux sens. Les seuils sensitifs ont encore plus de précision que les seuils de la contraction musculaire. Lorsqu'on connaît la capacité correspondant à la chronaxie, il n'y a plus qu'à appliquer la formule $\tau = C\tau \times 4\sigma$ pour avoir en 1/1000 de seconde la chronaxie sensitive.

CHAPITRE IV

CONTROLE EXPÉRIMENTAL DE LA TECHNIQUE

Avec cette technique de la mesure de la chronaxie motrice et sensitive chez l'homme, on trouve des résultats très constants pour un muscle ou un nerf donné et la chronaxie différencie les divers nerfs et muscles normaux entre eux. Les chronaxies normales s'échelonnent entre 0 τ ,1 et 0 τ ,6, suivant que les muscles sont plus ou moins rapides.

Mais les différences observées sont-elles bien d'ordre physiologique et ne pourraient-elles pas être dues à des causes d'erreurs apportées par l'interposition des téguments entre l'électrode et le tissu excité? Le montage employé met-il à l'abri des causes d'erreur que je viens d'analyser?

Pour résoudre ces questions, j'ai fait diverses expériences qui, toutes, concordent pour démontrer que la mesure de la chronaxie à travers les téguments avec la technique que je viens de décrire n'est troublée par aucune cause d'erreur importante et est aussi précise que la mesure de la chronaxie des nerfs et muscles dénudés en physiologie animale. Ces expériences sont aussi valables pour la chronaxie sensitive que pour la chronaxie motrice au sujet de laquelle la plupart ont été faites, car les causes d'erreur d'ordre physique sont les mêmes dans les deux cas.

Ces expériences sont d'autant plus importantes à exposer en détail, que A. Strohl, dans une série de travaux récents¹, dans lesquels il a exposé les résultats de ses recherches avec l'égersimètre qu'il a construit², émet quelques doutes sur les conclusions que j'ai tirées de

1. A. STROHL. Sur la résistance apparente du corps humain pour les courants de faible durée. *C. R. de la Soc. de Biologie*, t. LXXXV, p. 125, 18 juin 1921. — Mesure de la force contre-électromotrice de polarisation chez l'homme. *C. R. Soc. Biologie*, t. LXXXV, p. 948, 17 nov. 1921. — La caractéristique d'excitabilité électrique. *Archives d'Électricité médicale et de Physiothérapie*, n° 478, mai 1922. — Les méthodes modernes d'Électrodiagnostic (Rapport au Congrès de Montpellier, A. F. A. S., août 1922). *Journal de Radiologie et d'Electrologie*, t. VI, n° 8, août 1922, p. 375.

2. A. STROHL. *C. R. de la Soc. de Biologie*, t. LXXXIV, p. 949, 1920. — La mesure de l'excitabilité électrique au moyen de l'égersimètre. *Bull. de la Soc. fr. d'Electrothérapie et Radiologie*, juin 1921.

L'égersimètre de STROHL est un appareil mécanique qui remplace le pistolet.

mes recherches avec les condensateurs, et considère que la polarisation de la peau est une grave cause d'erreur dans la mesure de la chronaxie à travers les téguments; il insinue que la technique que j'emploie ne met pas à l'abri de cette cause d'erreur, par laquelle il explique les écarts qu'il a trouvés entre ses chiffres et les miens, et les irrégularités qu'il a rencontrées dans ses mesures de chronaxie chez l'homme, sur lequel il a fait d'ailleurs un nombre d'expériences très restreint. Je dois dire tout de suite que je n'ai jamais rencontré les irrégularités qu'il signale. Les expériences que j'expose maintenant répondent d'elles-mêmes à toutes les objections. Les unes ont été faites au moment où j'ai établi et contrôlé la technique que j'ai adoptée; les autres ont été faites spécialement pour contrôler certaines des expériences de A. Strohl.

Mes expériences peuvent se grouper en cinq séries.

I

PREMIÈRE SÉRIE D'EXPÉRIENCES RAPPORT ENTRE LE VOLTAGE ET L'INTENSITÉ DANS LA BRANCHE DU SUJET

Dans cette première série, j'ai étudié quel rapport il y a entre les variations du voltage total et les variations de l'intensité ou de la quantité d'électricité qui passent dans la branche du sujet dans le montage en dérivation.

Première expérience. — Nous avons vu que, dans le montage en série, une résistance de 6.000 ω à 10.000 ω stabilise l'intensité pendant le passage du courant et la rend suffisamment proportionnelle au voltage. J'ai alors étudié comment varie l'intensité qui passe par le sujet lorsqu'on introduit le système sujet + résistance additionnelle dans le circuit dérivé que j'ai décrit. Le calcul qui montre que pour des variations de résistance du sujet de 2.000 ω à 50.000 ω , la résistance totale du circuit est de 11.000 ω à 10 pour 100 près par défaut ou par excès nous tranquillise sur la fixité de la résistance totale. Mais il fallait s'assurer que l'intensité dans la branche du sujet restait bien sensiblement proportionnelle au voltage lorsqu'on passe du voltage rhéobasique au double de ce voltage.

C'est la chute d'un poids qui remplace la balle. En tombant, le poids rencontre successivement deux leviers qu'il fait basculer et rompt ainsi deux contacts. Le 1^{er} levier rencontré ouvre un court-circuit; le 2^e levier ouvre le circuit. L'un des leviers est fixe; l'autre se déplace au moyen d'une vis micrométrique qui mesure des μ . Une graduation sur la vis permet de connaître l'écart des leviers et la durée du passage de courant correspondant. Cet appareil fournit des ondes rectangulaires depuis 0 $\sigma,05$ de durée jusqu'à 5/100 de seconde, grâce à ce que le point de départ de la chute du poids peut être abaissé, pour obtenir les longues durées.

J'ai donc répété sur un grand nombre de muscles l'expérience suivante :

Le sujet faisant partie du circuit décrit (10 000 ω en dérivation, 11 000 ω en série avec le sujet dans l'autre branche du circuit dérivé, 4000 ω en série dans le circuit général) la grande électrode étant sur la poitrine et la petite électrode étant sur le point moteur du muscle ou sur le nerf étudiés, on cherche le voltage rhéobasique et on mesure l'intensité qui passe dans la branche du sujet avec ce voltage. On double ensuite le voltage rhéobasique et on mesure l'intensité correspondante dans la branche du sujet. On calcule l'écart entre cette intensité et l'intensité rhéobasique double.

Voici quelques exemples de cette expérience :

Expérience. — Electrodes impolarisables. — Grande électrode positive sur le sternum. — Petite électrode négative sur le nerf ou le point moteur musculaire. — Montage en dérivation utilisé pour les mesures de chronaxie chez l'homme. — Sujets normaux.

MUSCLES OU NERFS.	RHÉOBASE		INTENSITÉ DANS LA BRANCHE DU SUJET POUR $V = 2b$	DIFFÉRENCE ENTRE L'INTENSITÉ EXPÉRIMENTALE ET L'INTENSITÉ CALCULÉE POUR $V = 2b$.	VARIATION.
	VOLTAGE TOTAL $V = b$.	INTENSITÉ DANS LA BRANCHE DU SUJET.			
Biceps :					
Sujet 1. . . .	32 v.	1 mA,2	2 mA,7	2 mA,7 — 2 mA,4 = 0,3	12 %
Sujet 2. . . .	30 v.	1 mA,2	2 mA,5	2 mA,5 — 2 mA,4 = 0,1	4 %
Fléchisseur profond :					
Sujet 3. . . .	65 v.	2 mA,7	5 mA,8	5 mA,8 — 5 mA,4 = 0,4	7,4 %
Extenseur com- mun des doigts					
Sujet 4. . . .	74 v.	2 mA,5	5 mA,2	5 mA,2 — 5 mA = 0,2	4 %
Sujet 5. . . .	74 v.	1 mA,6	3 mA,5	3 mA,5 — 3 mA,2 = 0,3	8 %
Nerf radial :					
Sujet 6. . . .	44 v.	1 mA	2 mA,3	2 mA,3 — 2 mA = 0,3	15 %
Sujet 3. . . .	91 v.	5 mA,1	10 mA,3	10 mA,3 — 10 mA,2 = 0,1	1 %

Ces expériences ont été répétées sur 14 sujets différents. Leur nombre total a été de 116. Elles ont porté sur les muscles et nerfs suivants :

1° MEMBRE SUPÉRIEUR. — *Points moteurs* : Deltoïde; Biceps; Long supinateur; Fléchisseur profond des doigts; Cubital antérieur; Extenseur commun des doigts; Adducteur du cinquième doigt; Court abducteur du pouce.

Nerfs. — Radial; Médian au poignet; Cubital au poignet.

2° MEMBRE INFÉRIEUR. — Vaste interne de la cuisse; Droit interne; Courte portion du biceps crural; Jumeau interne.

5° FACE. — *Points moteurs* : Orbiculaire inférieur des lèvres; Grand zygomatique; Orbiculaire des paupières; Frontal.

Nerfs. — Les trois branches du nerf facial.

L'erreur a été comprise entre 0 et 20 pour 100. Dans 76 expériences sur 116, soit 65 pour 100 du total des expériences, l'erreur a été inférieure à 10 pour 100. Elle a été comprise entre 10 et 15 pour 100 dans 21 expériences, soit 18 pour 100 du total des expériences. Elle a été comprise entre 15 et 20 pour 100 seulement dans 19 expériences, c'est-à-dire dans 16 pour 100 seulement des mesures.

On peut donc considérer que, quand on double le voltage rhéobasique, l'intensité est approximativement doublée dans la branche du sujet, d'une manière satisfaisante dans tous les cas, avec une erreur inférieure à 10 pour 100 dans près des 5/4 des cas et avec une erreur ne dépassant 15 pour 100 que dans 1/6 des cas. Dans le montage en dérivation la proportionnalité de l'intensité au voltage, dans la branche du sujet n'est pas aussi approchée que dans les expériences faites avec le montage en série, que j'ai exposées précédemment : ce fait est d'accord avec l'étude théorique que A. Strohl a faite de la question¹. Mais l'approximation reste suffisante et nous avons vu que le montage en dérivation est nécessaire pour avoir un circuit de résistance invariable, condition indispensable à l'emploi des condensateurs pour la mesure de la chronaxie.

Les expériences justifient donc le montage que j'ai employé.

Deuxième expérience. — Cependant le temps de passage du courant nécessaire pour la lecture des intensités dépassant de beaucoup la durée d'une décharge de condensateurs, on pouvait craindre que la justification précédente ne soit pas valable pour les courants très brefs. J'ai donc complété ces expériences par la mesure du partage de la quantité d'électricité passant dans chacune des branches du circuit avec les condensateurs, pour le voltage doublé. Le montage étant le même que dans l'expérience précédente, on cherche la rhéobase avec le courant continu. On prend alors une capacité de quelques microfarads, 2 mf par exemple, qu'on charge au voltage rhéobasique et on mesure avec un galvanomètre balistique la quantité d'électricité qui passe dans la branche du sujet et dans l'autre branche du circuit dérivé. Par nécessité, je me suis servi, comme balistique, d'un milliampèremètre sensible ainsi que je l'ai dit dans mes travaux antérieurs². Ensuite, on double le voltage rhéobasique et

1. STROHL. *Journal de Radiologie et d'Électrologie*, t. 3, n° 5, mai 1919, p. 207.

2. G. BOURGUIGNON. *Acad. des Sciences*, t. CLXII, p. 956, 19 juin 1916; *Soc. de Biologie*, t. LXXIX, 17 juin 1916.

on mesure de nouveau la quantité d'électricité passant dans chaque branche à la décharge du condensateur; j'ai employé tantôt la même capacité que dans la première mesure et tantôt une capacité plus petite. Les résultats ont été les mêmes. J'ai fait, en même temps, la mesure de l'intensité dans les deux branches avec le courant continu. Ces expériences ont confirmé les précédentes. En voici un exemple :

Expérience du 19 mars 1920. — Mme G. Sujet normal. Biceps gauche. Point moteur. Même disposition des électrodes impolarisables.

Résistance en série dans le circuit général : 4000 ω .

Résistance en dérivation : 10 000 ω .

Résistance en série dans la branche du sujet : 11 000 ω .

Voltage rhéobasique : 59 v. S = branche du sujet.
D = branche de dérivation.

VOLTAGE.	ONDE	S.	D.	$\frac{D}{S}$.
39 v.	Ct continu. — Intensité.	1 mA,25	2 mA,1	1,6
	Capacité: 2mf Quantité.	26 mc.	58 mc	2,2
78 v.	Ct continu. — Intensité.	2 mA,9.	4 mA,4	1,5
	Capacité: 2mf. Quantité	56 mc.	114 mc	2
	— 0 mf,5. —	12 mc.	26 mc	2,1

Avec le même voltage le partage de l'intensité en courant continu entre les deux branches du circuit bifurqué n'est donc pas exactement le même que le partage de la quantité d'électricité fournie par les condensateurs; mais, si on compare entre eux les partages de l'intensité, d'une part, et, entre eux, ceux de la quantité d'électricité d'autre part, pour le voltage rhéobasique et pour ce voltage doublé, on voit que les partages respectifs sont sensiblement les mêmes pour les deux voltages, l'écart est inférieur à 10 pour 100 en passant d'un voltage à l'autre. La correction des variations d'intensité dans la branche du sujet est donc aussi bonne pour les condensateurs que pour le courant continu. Mais on recherche la rhéobase avec le courant continu et la chronaxie avec les condensateurs. Il faut donc comparer le partage de l'intensité du courant continu, pour le voltage rhéobasique, avec le partage de la quantité d'électricité fournie par les condensateurs chargés avec le double du voltage rhéobasique. Cette comparaison montre que l'écart entre ces deux partages n'est que de 20 pour 100 environ (écart entre 2 et 1,6). Comme l'intensité initiale est certainement un peu plus faible que celle qu'on mesure, à cause du temps relativement long d'oscillation de l'aiguille du milliampère-mètre l'erreur est vraisemblablement inférieure à 20 pour 100 et doit se rapprocher des 10 pour 100 qu'on trouve (écart entre 2,2 et 2) quand on compare le partage des quantités d'électricité fournies par

les condensateurs chargés au voltage rhéobasique puis au double de ce voltage. Cette manière de voir trouve d'ailleurs une vérification dans le fait que le voltage rhéobasique recherché avec le courant continu ne diffère qu'extrêmement peu de celui qu'on trouve en le cherchant avec une grande capacité. En voici un exemple¹ :

	RHÉOBASE EN VOLTS				
	COURANT CONTINU			50 mf	
Biceps. — Point moteur.	25 v	26 v	25 v	26 v	27 v

Je ferai remarquer, en outre, qu'en additionnant les quantités d'électricité passant dans les deux branches du circuit dérivé, on trouve des chiffres très voisins de ceux que donne le calcul de la quantité d'électricité en faisant le produit C V. L'erreur n'atteint pas 10 pour 100. Les chiffres de l'expérience que je viens de rapporter le démontrent.

C. V.	SOMME DES QUANTITÉS PASSANT DANS LES DEUX BRANCHES.		ERREUR.
	S	D	
39 v × 2 mf = 78 mc	58 mc + 36 mc =	84 mc	7 %
78 v × 2 mf = 156 mc	114 mc + 56 mc =	170 mc	9 %
78 v × 0 mf,5 = 39 mc	26 mc + 12 mc =	38 mc	2,5 %

Il résulte donc de ces expériences que le montage que j'emploie assure une proportionnalité suffisamment approchée entre le voltage et l'intensité de la branche du sujet, aussi bien pour les condensateurs que pour le courant continu et qu'il n'est pas besoin de faire de

mesures de la résistance du sujet, problème qui est resté jusqu'ici sans solution satisfaisante pour les êtres vivants, comme nous l'avons vu.

Ces expériences trouvent d'ailleurs une confirmation dans l'expérience suivante :

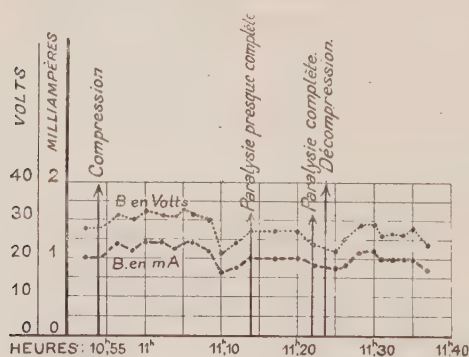


FIG. 15.

COURBES DE VOLTAGE ET D'INTENSITÉ.

Expérience du 29 novembre 1922.

Troisième expérience.

— Au cours de recherches que j'ai poursuivies avec H. Laugier sur les variations de la chronaxie par

répercussion réflexe sous l'influence de l'arrêt de la circulation par

1. G. BOURGUIGNON. Procédé de la détermination de la chronaxie chez l'homme. *C. R. de la Soc. de Biologie*, t. LXXIX, p. 637, 1^{er} juillet 1916.

compression, j'ai mesuré, sur le même point moteur, le voltage rhéobasique et l'intensité correspondante dans la branche du sujet, pendant environ 3/4 d'heure, toutes les minutes ou toutes les 2 minutes. J'ai toujours vu un parallélisme très satisfaisant entre les variations du voltage total et celles de l'intensité dans la branche du sujet. J'ai dressé à part la courbe du voltage rhéobasique et de l'intensité correspondante dans la branche du sujet pour une de ces expériences : les deux courbes sont très sensiblement parallèles (voir fig. 45).

Voici les valeurs du voltage et de l'intensité dans la branche du sujet et le rapport entre le voltage total exprimé en volts et l'intensité dans la branche du sujet exprimée en milliampères.

Expérience du 29 novembre 1922. — Point moteur du transverse du nez à droite pendant la compression au bras gauche.

Méthode monopolaire. — Électrodes impolarisables.

MESURES	VOLTAGE RHÉOBASIQUE.	INTENSITÉ CORRESPONDANTE DANS LA BRANCHE DU SUJET.	$\frac{V}{mA.}$
	Volts.	mA	
1 ^{re}	28	1	28
2 ^{me}	31	1,2	25,8
3 ^{me}	30	1,1	27,2
4 ^{me}	22	1,2	26,6
5 ^{me}	31	1,2	25,8
6 ^{me}	31	1,1	27,2
7 ^{me}	32	1,2	26,6
8 ^{me}	31	1,2	25,8
9 ^{me}	30	1,1	27,2
10 ^{me}	28	0,8	26,2
11 ^{me}	24	0,85	28,2
12 ^{me}	27	1	27
13 ^{me}	27	1	27
14 ^{me}	27	1	27
15 ^{me}	24	0,9	26,6
16 ^{me}	22	0,9	24,4
17 ^{me}	25	0,9	27,7
18 ^{me}	29	1,1	26,3
19 ^{me}	29	1,1	26,3
20 ^{me}	26	1	26
21 ^{me}	26	1	26
22 ^{me}	26	1	26
23 ^{me}	27	1	27
24 ^{me}	24	0,9	26,6

En laissant de côté une mesure, la 16^e, pour laquelle le rapport $\frac{V}{mA}$ est notablement inférieur aux autres, sur les 25 autres mesures,

le rapport a été compris entre 25,8 et 28,2. Sur ces 25 mesures, il a été compris 20 fois entre 25,8 et 27,2.

La moyenne arithmétique de la totalité des 24 mesures est $\frac{638,5}{24} = 26,6$. La moyenne des 23 mesures est 26,7.

La moyenne arithmétique des 20 rapports compris entre 25,8 et 27,2 est de 26,5.

On peut donc prendre 26,6 comme valeur moyenne. L'écart le plus grand, pour le seul rapport de 24,4 (24,4 à 26,6), représente une erreur de 8,2 pour 100 par défaut. L'écart entre la valeur moyenne et 28,2 est de 6 pour 100 par excès. Pour les 20 rapports compris entre 25,8 et 27,2 l'écart est de 0,25 pour 100 seulement.

Il y a donc bien eu proportionnalité entre le voltage et l'intensité, l'erreur maxima, qui ne s'est produite qu'une fois, n'ayant pas dépassé 8 pour 100.

Toutes ces expériences démontrent donc que la proportionnalité entre l'intensité qui traverse le sujet et le voltage est assurée d'une manière satisfaisante dans le circuit que j'ai adopté.

II

DEUXIÈME SÉRIE D'EXPÉRIENCES

CHRONAXIES EXPÉRIMENTALES COMPARÉES AUX CHRONAXIES CALCULÉES DE DIVERSES MANIÈRES

Dans une deuxième série d'expériences, j'ai fait des mesures de chronaxie dans des conditions diverses, se contrôlant mutuellement. Si en effet, les conclusions tirées des expériences de la première série n'étaient pas exactes, je n'aurais pas trouvé des résultats concordants dans la deuxième série qui donne des preuves directes de l'exactitude de la méthode.

Dans toutes les expériences avec mesure de la chronaxie, la rhéobase a toujours été vérifiée après la prise de la chronaxie.

Première expérience. — On prend la chronaxie en plaçant l'électrode exactement au point moteur, puis en la plaçant à une certaine distance du point moteur.

L'excitation longitudinale est un cas particulier de l'excitation en dehors du point moteur.

La rhéobase varie, mais la chronaxie ne varie pas dans toutes ces conditions différentes.

En voici des exemples sur des sujets normaux.

MUSCLES	SITUATION DE L'ÉLECTRODE	RHÉOBASE		CHRONAXIE	
		VOLTAGE	INTENSITÉ	$C\tau$ EN MICRO- FARADS	$\frac{\tau}{1.000}$ (EN SECONDE)
Long supin. gauche. Sujet 1 : M. Ch. 27 mai 1916.	Point moteur. Acôté du point moteur.	40 v. 55 v.	" "	0 mf,02 0 mf,02	0 σ ,08 0 σ ,08
Transverse du nez. Droit. Sujet 2 : M. L. 30 juin 1922.	Point moteur. Au-dessus du point moteur.	54 v. 42 v.	1 mA,5 2 mA	0 mf,17 0 mf,18	0 σ ,68 0 σ ,72
Extenseur commun 4 ^e doigt. Droit. Sujet 3 : M. T. 13 mars 1922.	Point moteur. Excitation longitu- dinale.	45 v. 84 v.	1 mA,8 3 mA,9	0 mf,16 0 mf,17	0 σ ,64 0 σ ,68

Les chronaxies pour un même muscle sont si voisines qu'on peut les considérer comme égales.

Deuxième expérience ¹. — Sur le même muscle on mesure la chronaxie de deux manières différentes : 1° On la mesure directement en doublant le voltage rhéobasique; 2° On la calcule au moyen de la formule d'Hoorweg soit en se servant de la rhéobase expérimentale et en cherchant la capacité liminaire pour un voltage plus petit que le double de la rhéobase, soit en calculant à la fois la rhéobase et la chronaxie en cherchant le voltage liminaire pour deux capacités arbitrairement choisies. J'ai toujours trouvé la même chronaxie dans ces différentes conditions. Exemples :

LONG SUPINATEUR	RHÉOBASE EXPÉRI- MENTALE	ÉLÉMENTS DU CALCUL	CHRONAXIE EXPÉRIMENTALE		CHRONAXIE CALCULÉE	
			$C\tau$	τ	$C\tau$	τ
Sujet 4 : M. Ch. 22 mai 1916.	85 v.	Volt. choisi = 100 v. C = 0 mf,15.	0 mf,03	0 σ ,12	0 mf,026	0 σ ,10
Sujet 5 : M. H. 27 mai 1916.	43 v.	C_1 choisie = 1 mf V ₁ = 40 v. C_2 choisie = 0 mf,05 V ₂ = 61 v	0 mf,03	0 σ ,12	0 mf,052	0 σ ,13

Les chronaxies expérimentales et calculées sont bien les mêmes.

La rhéobase calculée (58 v,9) est très voisine de la rhéobase expérimentale (43 v).

1. G. BOURGUIGNON. Chronaxie normale des muscles du membre supérieur. *Revue de Neurologie*, n° 7, juillet 1917.

Troisième expérience. — Nous avons vu, dans la première série d'expériences que, lorsqu'on double le voltage rhéobasique, l'intensité dans la branche du sujet est toujours plus que doublée sans que l'erreur dépasse jamais 20 pour 100 et j'ai considéré que la proportionnalité de l'intensité au voltage était suffisamment approchée pour que la mesure de la chronaxie soit exacte.

Si cette conclusion est légitime, on doit trouver une chronaxie égale à la chronaxie expérimentale ou très voisine d'elle, en substituant, pour faire les calculs, à la valeur des voltages V et b celles des intensités dans la branche du sujet correspondant à ces voltages.

On peut faire cette expérience de différentes manières.

Les résultats ont été concordants aussi bien chez les sujets normaux qu'à l'état pathologique.

Expériences.

I. — Après avoir pris la chronaxie en doublant le voltage rhéobasique (chronaxie expérimentale), on mesure l'intensité dans la branche du sujet correspondant à ce voltage et au double de ce voltage. On calcule la chronaxie en donnant à V et b les valeurs de ces intensités : les chronaxies trouvées sont très voisines :

MUSCLES	RHÉOBASE		INTENSITÉ DANS LA BRANCHE DU SUJET CORRESPONDANT AU VOLTAGE $V = 2b$	CHRONAXIE EXPÉRIMENTALE $V = 2b$		CHRONAXIE CALCULÉE SUR LES INTENSITÉS	
	VOLTAGE $V = b$	INTENSITÉ		$C\tau$	τ	$C\tau$	τ
Long supinat. droit. Point moteur. Sujet 6 : M. C. 19 mars 1920.	42 v.	1 mA, 25	2 mA, 9	0 mf. 03	0 σ , 12	0 mf. 039	0 σ , 15
Extenseur commun droit 4 ^e doigt. Point moteur. Sujet 6 : M. C. 19 mars 1920.	74 v.	1 mA, 6	3 mA, 5	0 mf. 12	0 σ , 48	0 mf. 14	0 σ , 56
Quadriceps crural dr. Vaste interne. Point moteur. Sujet 7 : M. S. 10 mars 1920.	67 v.	1 mA, 6	3 mA, 7	0 mf. 03	0 σ , 12	0 mf. 039	0 σ , 15

Les chronaxies calculées sur les intensités passant dans la branche du sujet diffèrent donc très peu des chronaxies expérimentales. L'erreur est de 17 pour 100 (0 σ , 48 à 0 σ , 56) à 20 pour 100 (0 σ , 12 à 0 σ , 15), par excès. Dans toutes les expériences semblables, l'erreur a toujours été comprise entre 10 et 20 pour 100. C'est la même approxima-

tion que celle que nous avons trouvée dans les expériences sur la comparaison des intensités passant dans la branche du sujet pour différents voltages.

II. — Le voltage rhéobasique n'est pas doublé. On mesure l'intensité dans la branche du sujet avec le voltage rhéobasique et avec le voltage liminaire pour la capacité choisie. On calcule en donnant à V et à b d'une part les valeurs en volts, et, d'autre part, les valeurs en intensité.

Les chronaxies trouvées sont très voisines. Des trois exemples ci-dessous, deux sont des sujets normaux et le 3^e est un cas de R D totale :

MUSCLES	RHÉOBASE		ÉLÉMENTS DES CALCULS			CHRONAXIES			
	VOLTAGE	INTENSITÉ	CAPACITÉ CHOISIE	VOLTAGE LININ.	INTENSITÉ CORRESP. AU VOLTAGE LININ.	CALCULÉES SUR LES VOLTS		CALCULÉES SUR LES INTENSITÉS	
						$C\tau$	τ	$C\tau$	τ
Biceps gauche. Point moteur. Sujet 8 : Mme G. 10 mars 1920.	26 v.	1 mA,1	0mf,04	46 v.	2 mA,1	0 mf,03	0 σ ,12	0mf,036	0 σ ,14
Jumeau interne dr. Point moteur. Sujet 7 : M. S. 10 mars 1920.	120 v.	3 mA,3	0mf,19	202 v.	5 mA,9	0 mf,13	0 σ ,52	0mf,15	0 σ ,60
Extenseur commun gauche 4 ^e doigt. Point moteur. Sujet 9 : M. A. 18 mars 1920. <i>Cas pathologique. Dégénérescence to- tale.</i>	164 v.	9 mA,5	17 mf	204 v.	11 mA,8	4 mf,1	16 σ ,40	4mf,6	18 σ ,40

Ici, l'erreur a été de 11 pour 100 (16 σ ,40 à 18 σ ,40), de 15 pour 100 (0 σ ,52 à 0 σ ,60) et de 16 pour 100 (0 σ ,12 à 0 σ ,14), par excès. C'est donc toujours une approximation de 10 à 20 pour 100.

III. — Au lieu de doubler le voltage rhéobasique on prend, pour chercher $C\tau$, le voltage nécessaire pour que l'intensité dans la branche du sujet soit le double de celle qui correspond au voltage rhéobasique. Les valeurs de $C\tau$ ainsi déterminées et recherchées avec le voltage rhéobasique doublé, sont encore très voisines :

MUSCLES	RHÉOBASE		CHRONAXIES					
	VOLTAGE	INTEN- SITÉ	AVEC LE VOLTAGE RHÉOBASIQUE DOUBLÉ		AVEC LE VOLTAGE CORRESPONDANT A L'INTENSITÉ RHÉOBASIQUE DOUBLÉE			
			Cτ	τ	VOLTAGE	Cτ	τ	
Biceps. Sujet 10 . Mme D.								
Côté gauche. 13 mars 1920. . .	70 v.	1 mA,5	0 mf,02	0 σ,08	110 v.	0 mf,025	0 σ,10	
Côté droit. 18 mars 1920 . . .	51 v.	1 mA,4	0 mf,025	0 σ.10	83 v.	0 mf,03	0 σ,12	
Sujet 8 : Mme G. Côté gauche. 19 mars 1920	58 v.	1 mA,3	0 mf,025	0 σ,10	100 v.	0 mf,03	0 σ,12	

L'erreur a été encore du même ordre de grandeur, de 16 pour 100 (0 σ ,10 à 0 σ ,12) à 25 pour 100 (0 σ ,08 à 0 σ ,10).

Cette dernière manière de faire l'expérience, outre sa concordance avec les deux autres, démontre qu'on peut prendre un voltage inférieur au double du voltage rhéobasique d'environ 20 V à 50 V (110 V au lieu de 140 V; 83 V au lieu de 102 V; 100 V au lieu de 116 V), soit de 16 à 21 pour 100, sans changer notablement la chronaxie trouvée. Si donc on admettait avec Strohl, que le voltage de polarisation qu'il considère comme une grosse cause d'erreur dans la mesure de la chronaxie chez l'Homme¹ peut aller jusqu'à 10 ou 20 V, cette expérience démontre que cette erreur sur le voltage n'a aucune importance dans la mesure de la chronaxie à travers les téguments.

Il est facile de comprendre que, la chronaxie se trouvant dans une région de la loi d'excitation où les voltages varient très vite alors que les temps varient très lentement, d'assez fortes erreurs sur la rhéobase n'entraînent pas d'erreurs importantes sur la chronaxie.

III

TROISIÈME SÉRIE D'EXPÉRIENCES

ÉLIMINATION DE LA PEAU INDIRECTEMENT CHEZ L'HOMME ET DIRECTEMENT CHEZ L'ANIMAL

Première expérience. — Une preuve que les phénomènes dont la peau est le siège ne faussent pas la mesure de la chronaxie, et que les différences que j'ai trouvées entre les différents muscles normaux,

1. A. STROHL. *C. R. de la Soc. de Biologie*, t. LXXXIV, p. 125, 1921 et t. LXXXV, p. 948, 1921. — A. STROHL et A. DOGNON. *C. R. de la Soc. de Biologie*, t. LXXXVI, p. 606, 1922.

sont bien d'ordre physiologique est donnée, chez l'Homme, par l'étude des nerfs qui innervent des muscles de chronaxie différente. Pour un muscle donné, on prouve toujours la même chronaxie dans l'excitation au point moteur et dans l'excitation par le nerf.

Certains nerfs, comme le nerf radial et la branche supérieure du nerf facial contiennent des fibres innervant des muscles de chronaxie différente. Or, sur ces nerfs, *sans déplacer l'électrode*, on trouve l'une ou l'autre des chronaxies suivant qu'on prend comme témoin de l'excitation du nerf, un muscle ou un autre muscle.

Ainsi, la branche de bifurcation supérieure du nerf facial contient, à la fois, les fibres innervant le frontal et le sourcilier. Or, la chronaxie du frontal (0 σ , 44 à 0 σ , 72) est le double de celle du sourcilier (0 σ , 24 à 0 σ , 56), quand on les mesure aux points moteurs de ces deux muscles.

À la région temporale, il existe un point où l'électrode excite le nerf et où, sans déplacer l'électrode, on peut prendre soit les seuils du sourcilier, soit ceux du frontal.

Dans ces conditions, on trouve toujours la même chronaxie que celle du point moteur du muscle considéré¹.

Voici un exemple de cette expérience sur la branche supérieure du nerf facial chez un sujet normal.

Expérience du 10 novembre 1920. — Petite électrode négative sur la branche supérieure du nerf facial. Sans déplacer l'électrode, on prend successivement le seuil de la contraction du sourcilier et du frontal. Ensuite, on prend la chronaxie au point moteur de ces deux muscles :

	NERF				POINT MOTEUR			
	RHÉOBASE		CHRONAXIE		RHÉOBASE		CHRONAXIE	
	VOLTAGE	INTENSITÉ	C τ	τ	VOLTAGE	INTENSITÉ	C τ	τ
Sourcilier .	25 v.	0 mA,8	0 mf,07	0 σ ,28	35 v.	1 mA,1	0 mf,06	0 σ ,24
Frontal . .	27 v.	0 mA,9	0 mf,13	0 σ ,52	36 v.	1 mA,2	0 mf,15	0 σ ,60

Les chronaxies sur le nerf et sur le muscle sont si voisines, qu'on peut les considérer comme égales².

1. G. BOURGUIGNON et A. TUPA. Chronaxie du nerf facial. *C. R. de la Soc. de Biologie*, t. LXXXV, p. 982, 26 nov. 1921.

2. En calculant l'écart, pour le même muscle dans cette expérience, par rapport à la plus petite chronaxie, on le trouve de 16 pour 100 pour le sourcilier et de 15 pour 100 pour le frontal. C'est le même écart que dans toutes les expériences précédentes. Le fait que, dans l'une des expériences (sourcilier), la chronaxie a été plus grande sur le nerf que sur le point moteur, alors que c'a

J'ai répété souvent la même expérience sur le radial, en prenant les seuils, soit du long supinateur ($0\sigma, 08$ à $0\sigma, 16$), soit d'un extenseur ($0\sigma, 44$ à $0\sigma, 72$), avec le même résultat.

Dans ces expériences, le courant traverse la même portion de la peau et les rhéobases sont très voisines; même, en général, la plus petite chronaxie correspond à la plus petite rhéobase: les phénomènes de polarisation des tissus interposés entre l'électrode et le nerf sont évidemment les mêmes dans les deux cas; cependant, on trouve une chronaxie différente suivant le muscle pris comme témoin et la chronaxie trouvée sur le nerf est la même que celle qu'on trouve au point moteur du muscle considéré, comme il est de règle.

On ne peut donc attribuer la différence des chronaxies qu'à la différence d'excitabilité des fibres innervant le sourcilier et des fibres innervant le frontal.

J'ai fait la même expérience avec le pistolet de Weiss et j'ai obtenu le même résultat.

A moins d'admettre que c'est la polarisation du nerf qui intervient, on ne peut admettre que la polarisation de la peau a troublé la mesure de la chronaxie dans mes expériences.

Or, A. Strohl¹ sépare soigneusement les expériences sur les nerfs et muscles dénudés de celles faites à travers la peau et *il admet la rigueur des expériences sur les organes dénudés*.

Antérieurement aux travaux de Strohl d'ailleurs, dès juin 1920, j'avais fait une expérience sur le lapin qui élimine toute crainte d'erreur due à l'interposition de la peau.

Voici cette expérience :

Deuxième expérience. — Sur le lapin², j'ai pris la chronaxie du même muscle, successivement à travers la peau et sur le muscle dénudé. J'ai trouvé exactement la même chronaxie dans les mêmes

été l'inverse dans l'autre (frontal), montre qu'il s'agit là de l'erreur expérimentale. Cette expérience donne une bonne idée de l'approximation à laquelle on peut arriver dans les mesures de chronaxie à travers les téguments. En calculant l'écart par rapport à la valeur moyenne ($0\sigma, 26$ pour le sourcilier; $0\sigma, 56$ pour le frontal), on trouve une erreur de 7,6 pour 100 pour le sourcilier et de 7,1 pour 100 pour le frontal. Dans les très nombreuses expériences que j'ai faites sur l'homme, j'ai toujours trouvé des écarts du même ordre de grandeur. On peut donc dire, en étant large, que les écarts entre les chiffres trouvés dans une série de mesures sur un même muscle chez un même sujet ne dépassent jamais 20 pour 100, ce qui est conforme aux résultats de toutes les expériences que je viens d'exposer, et que l'écart d'une mesure par rapport à la moyenne de toutes les mesures ne dépasse jamais 10 pour 100. Je peux donc dire, sans exagération, que mes mesures sont approchées à 1/10 près par défaut ou par excès.

1. A. STROHL. *Loc. cit.*

2. G. BOURGUIGNON. In : Indépendance de la mesure de la chronaxie et des variations expérimentales du voltage rhéobasique chez l'homme. *C. R. Soc. de Biologie*, t. LXXXVII, p. 612, 22 juillet 1922, et in *Journal de Radiologie et d'Électrologie*, nov. 1922 (*loc. cit.*).

onditions. Cependant, en mesurant l'intensité qui traverse la branche du sujet avec le voltage rhéobasique et avec ce voltage doublé, en utilisant un milliampèremètre donnant le 1/100 de mA, on constate une erreur quand la peau est interposée et on n'en constate pas quand la peau est supprimée. L'erreur sur l'intensité est d'ailleurs du même ordre de grandeur que celle que j'ai constatée chez l'Homme. Le fait qu'avec des courants de durée prolongée, on constate des écarts de même ordre chez le Lapin et chez l'Homme prouve que les phénomènes de polarisation y sont semblables. L'expérience sur le Lapin est donc applicable à l'Homme.

Expérience de juin 1920. — Lapin non anesthésié. Méthode monopolaire. Électrodes impolarisables (Ag et Ag Cl). Montage de L. Lapicque. 3 000 ω en dérivation. 41 000 ω en série avec l'animal. 7 000 ω en série dans le circuit général.

$$R = 10\,000\ \omega \quad \tau = RC \tau \times 0,37.$$

Milliampèremètre mesurant le 1/100 de milliampère.

Droit antérieur de la cuisse. Point moteur.

POINT MOTEUR DU DROIT ANTÉRIEUR DE LA CUISSE	RHÉOBASE		RHÉOBASE $\times 2$		CHRONAXIE	
	VOLTAGE	INTENSITÉ	VOLTAGE	INTENSITÉ	$C\tau$	τ
A la surface de la peau.	34 v.	0 mA,4	68 v.	0 mA,9	0 mf,02	0 σ ,074
Sur le muscle décou- vert.	8 v.	0 mA,1	16 v.	0 mA,2	0 mf,02	0 σ ,074

Cette expérience prouve donc que la polarisation se fait sentir sur la mesure de l'intensité, mais qu'elle ne change rien à la mesure de la chronaxie.

IV

QUATRIÈME SÉRIE D'EXPÉRIENCES

CONTROLE DES CONDENSATEURS ET DES COEFFICIENTS PAR LE RHÉOTOME BALISTIQUE DE WEISS

Dans cette série, j'ai contrôlé les chronaxies mesurées avec les condensateurs par des mesures de chronaxie avec le rhéotome balistique de Weiss. J'ai pris les mesures avec le pistolet, dans deux conditions différentes : avec le montage en série et avec le montage en dérivation.

Première expérience. — En collaboration avec H. Laugier¹, nous avons employé le montage en série, en prenant le schéma de Weiss et en mettant 20 000 ω en série avec le sujet (10 000 ω avant le court-circuit et 10 000 ω après le court-circuit (voir fig. 14).

Les chronaxies ainsi mesurées ont des valeurs comprises dans les limites de celles que j'ai trouvées, avec les condensateurs, sur différents sujets.

Voici quelques exemples de ces mesures :

*Expériences*². — Méthode monopolaire. Électrodes impolarisables. 20 000 ω en série.

MUSCLES	RHÉOBASE EN VOLTS		CHRONAXIE		CHRONAXIES EN CONDENSAT.
	1 ^{re} MESURE	VÉRIFICAT. APRÈS L'EXPÉR.	D EN CENT.	$\tau = D$ $\times 0 \sigma, 045$	
Biceps droit. Mme T. 3 décembre 1919. . .	32 v.	33 v.	3 cm,5	0 σ ,15	0 σ ,08 à 0 σ ,16
Long supinateur gauche. M F. V. 8 déc. 1919.	56 v.	57 v.	3 cm	0 σ ,13	0 σ ,08 à 0 σ ,16
Fléchisseur profond des doigts. Mlle C. 28 nov. 1919.	48 v.	40 v.	7 cm	0 σ ,30	0 σ ,20 à 0 σ ,36
Extenseur communes doigts. Mlle C. 28 nov. 1919.	64 v.	65 v.	14 cm	0 σ ,60	0 σ ,44 à 0 σ ,72

La concordance entre les mesures avec le pistolet et avec les condensateurs est donc très bonne. Elle justifie l'application à l'Homme de la formule de L. Lapique d'où j'ai tiré le coefficient applicable au circuit de 11 000 ω .

Deuxième expérience. — J'ai employé le pistolet de Weiss avec le même montage que pour les condensateurs. Le court-circuit est pris entre les 4 000 ω en série dans le circuit général et la portion bifur-

1. G. BOURGUIGNON et H. LAUGIER. *C. R. de la Soc. de Biologie*, 5 mars 1921.

2. Si on compare ces tableaux d'expérience et les suivants avec les tableaux de mes publications antérieures, on trouvera une petite différence dans la valeur absolue des chronaxies au pistolet, différence d'ailleurs négligeable. Elle tient à ce que j'avais admis pour le temps que met la balle à parcourir 1 centimètre un chiffre légèrement plus grand que dans ce travail. La moyenne que j'avais faite alors portait sur un nombre de mesures de vitesse de la balle un peu moindre que celle qui me sert ici. Au lieu de 0 σ , 043 par centimètre, j'avais trouvé 0 σ , 045. Il est évident que cela ne change rien à mes conclusions et ne modifie en rien la concordance entre le pistolet et les condensateurs. Voici un exemple de l'écart :

$$\left\{ \begin{array}{l} 3^{\text{cm}},5 \times 0 \sigma, 043 = 0 \sigma, 15 \\ 3^{\text{cm}},5 \times 0 \sigma, 045 = 0 \sigma, 1575, \text{ soit } 0 \sigma, 16. \end{array} \right.$$

quée du circuit dont l'une des branches renferme le sujet. Avec ce dispositif j'ai pu, après avoir doublé le voltage rhéobasique, prendre de suite le seuil au pistolet et le seuil aux condensateurs. J'ai fait cette expérience pour les muscles¹ et pour les nerfs sensitifs². Il y a toujours une concordance remarquable entre la chronaxie trouvée au pistolet et la chronaxie trouvée aux condensateurs.

J'ai aussi mesuré des chronaxies avec le pistolet de Weiss et avec les condensateurs dans le même montage, mais en reprenant la rhéobase entre les deux mesures.

Voici quelques exemples de cette dernière expérience sur des muscles et des nerfs sensitifs normaux et sur des muscles en état de dégénérescence. Sur les nerfs sensitifs, j'ai en outre comparé sur le même nerf du même sujet, le même jour, la chronaxie mesurée au pistolet avec montage en dérivation, et au pistolet avec montage en série (20 000 ω en série).

Expériences. — Montage en dérivation. — On prend une seule rhéobase. Après avoir mesuré la chronaxie avec les condensateurs, on leur substitue le pistolet et on reprend ainsi la chronaxie.

MUSCLES OU NERFS SENSITIFS	INSTRUMENT	RHÉOBASE		DISTANCE EN CENT. (PISTOLET) OU MICROFARADS (CONDENS.) POUR LE DOUBLE DE LA RHÉOBASE	VERIFICATION DE LA RHÉOBASE		CHRO- NAXIE EN 1 1000 DE SECONDE
		VOLTAGE	INTENSITÉ		VOLTAGE	INTENSITÉ	
Biceps . . .	Pistolet . .	35 v.	4 mA,3	3 cm	»	»	0 σ,13
	Condensa- teurs . .	34 v.	4 mA,3	0 mf,03	»	»	0 σ,12
Fléchiss. pro- fond des doigts.	Pistolet . .	»	»	6 cm	»	»	0 σ,26
	Condensa- teurs . .	»	»	0 mf,07	»	»	0 σ,28
Extens. com- mun des doigts.	Pistolet . .	63 v.	2 mA,4	12 cm	»	»	0 σ,61
	Condensa- teurs . .	74 v.	2 mA,4	0 mf,12	»	»	0 σ,48
Nerf médian droit au poi- gnet. M. A. R. 13 févr. 1921. Chronaxie sensitive.	Pistolet . .	25 v.	2 mA,5	7 cm	25 v.	0 mA,5	0 σ,30
	Condensa- teurs . .	42 v.	1 mA	0 mf,08	»	»	0 σ,32
	Pistolet . .	19 v,5	0 mA,3	8 cm	20 v.	0 mA,3	0 σ,24
	(Montage en dérivat.)						

Les mesures de chronaxie au pistolet dans le montage en dérivation

1. G. BOURGUIGNON. *Soc. fr. d'Électrothérapie et de Radiologie*, janvier et février 1920, et *Soc. de Biologie*, 22 juillet 1922.

2. G. BOURGUIGNON et A. RADOVICI. *Acad. des Sciences. Loc. cit.*

ou en série, et aux condensateurs concordent aussi bien pour les nerfs sensitifs que pour les muscles.

Sur quelques muscles pathologiques avec chronaxie légèrement élevée, sans R. D. j'ai trouvé la même concordance.

MUSCLES OU NERFS	INSTRUMENT	RHÉOBASE		DISTANCE EN CENTIMÈTRES (PISTOLET) OU MICROFARADS (CONDENSATEUR) POUR LE DOUBLE DE LA RHÉOBASE	CHRO- NAXIE
		VOLTAGE	INTENSITÉ		
Biceps . . .	Pistolet. . .	40 v.	1 mA,6	6 cm.	0 σ ,26
	Condensa- teurs . . .	29 v.	1 mA,7	0 mf,06	0 σ ,24
Long supinateur.	Pistolet. . .	75 v.	3 mA,3	(Pas de se- cousse à 50 cm. Seuil dépassé à 35 cm.)	Chronaxie comprise entre
	Condensa- teurs . . .	49 v.	3 mA,4	0 mf,33	1 σ ,3 et 1 σ ,5 1 σ ,3

L'examen de ce tableau montre donc que les mesures concordent aussi bien à l'état pathologique qu'à l'état normal.

Ces expériences montrent que la valeur de la chronaxie mesurée par la formule de L. Lapicque $\tau = RC\tau \times 0,57$ s'applique à l'Homme et est une excellente approximation. Elles légitiment, par conséquent, l'emploi de la formule particulière $\tau = C\tau \times 45$ dérivée de la formule de L. Lapicque et applicable au cas où $R = 11000 \omega$.

Troisième expérience. — Malgré ces résultats, j'ai été conduit, à la suite de travaux de A. Strohl et A. Dognon, à rechercher si la résistance en série de 10000ω à 20000ω que j'emploie pour le pistolet de Weiss est suffisante. Ces auteurs, malgré que mes expériences de contrôle aient été publiées en 1920 et 1921¹, ont prétendu récemment que la polarisation de la peau était une telle cause d'erreur dans la mesure de la chronaxie chez l'Homme qu'on ne pouvait mesurer correctement la chronaxie chez lui avec un rhéotome balistique qu'en introduisant une forte self dans le circuit (ils ont employé une bobine pour la production des rayons Röntgen) ou en employant des résistances beaucoup plus considérables que celles que j'emploie et, chose grave, *variables avec l'excitabilité du muscle étudié*.

Ils prétendent qu'on trouve des chronaxies de plus en plus grandes sur un même muscle au fur et à mesure qu'on augmente la résistance

1. G. BOURGUIGNON. *Bull. de la Soc. fr. d'Electroth., loc. cit.* — G. BOURGUIGNON et H. LAUGIER. *C. R. de la Soc. de Biologie, loc. cit.*

2. A. STROHL et A. DOGNON. Influence de la polarisation sur l'excitabilité électrique chez l'Homme. *C. R. Soc. de Biologie*, n° 606, t. LXXXVI. Séance du 10 mars 1922 de la Réunion biologique de Strasbourg.

sans self ou lorsqu'on introduit une forte self en série. Ils arriveraient ainsi à trouver des chronaxies 5 fois plus grandes avec la forte self en série ou avec une forte résistance sans self qu'avec les 20000 ω que je mets en série pour la mesure de la chronaxie avec le pistolet de Weiss.

A l'appui de leurs discussions théoriques, ils donnent deux séries d'expériences.

Dans l'une, qui porte sur le biceps, l'extenseur commun et le quadriceps, ils comparent la chronaxie prise dans le montage ordinaire sans self et dans le montage avec self. Dans la deuxième série qui porte exclusivement sur le biceps, ils comparent entre elles les chronaxies prises avec des résistances en série sans self croissantes et avec la chronaxie prise avec une forte self en série. Ils n'indiquent d'ailleurs pas, dans cette deuxième série d'expériences, la grandeur des résistances additionnelles qu'ils ont employées pour augmenter le voltage rhéobasique. Ils ont opéré avec l'égersimètre à la place du pistolet.

Voici les chiffres qu'ils donnent¹:

Première série :

MUSCLES	MÉTHODE ORDINAIRE			AVEC SELF — CHRONAXIE
	VOLTAGE volts	RÉSISTANCE EN SÉRIE AVEC LE SUJET EN ohms	CHRONAXIE EN 1/1000 DE SECONDE	
Sujet 1. — Biceps. . . .	29	20.000	0 σ ,1	0 σ ,10
— 2. — Biceps. . . .	25	20.000	0 σ ,3	0 σ ,52
— 3. — Extenseur . . .	40	10.000	0 σ ,3	0 σ ,40
— 4. — Quadriceps. . .	48	7.000	0 σ ,05	0 σ ,08

Deuxième série :

MUSCLES	MÉTHODE ORDINAIRE		AVEC SELF — CHRONAXIE
	VOLTAGE	CHRONAXIE	
Biceps	16	0 σ ,18	0 σ ,31
—	32	0 σ ,23	
—	57	0 σ ,31	

1. A. STROHL et A. DOGNON. *Loc. cit.* et A. STROHL. *Loc. cit.*

Ainsi ces expériences tendent à prouver que la chronaxie augmente quand on met une forte self en série, et quand on augmente le voltage par addition de résistances sans self croissantes dans le montage ordinaire.

Avant d'entrer dans l'étude critique de ces expériences, il est nécessaire de voir si les faits qu'invoquent A. Strohl et A. Dognon sont exacts. Il est bien évident que, s'ils étaient exacts, les expériences de contrôle des condensateurs par le pistolet de Weiss que je viens d'exposer perdraient toute leur valeur, et, par suite, toutes mes recherches sur la chronaxie de l'Homme avec les condensateurs ou le pistolet seraient sujettes à révision. Aussi ai-je répété soigneusement les expériences de A. Strohl et A. Dognon ou plutôt une partie d'entre elles.

Faute de moyens matériels, je n'ai pu répéter leurs expériences avec la self et je n'ai contrôlé que leurs expériences avec les résistances sans self. Puisque ces auteurs arrivent aux mêmes résultats avec leurs deux méthodes, il suffit d'en contrôler une : les résultats obtenus donneront, *ipso facto*, la confirmation ou l'infirmité des résultats des deux méthodes.

J'ai donc cherché si, réellement, la variation expérimentale du voltage rhéobasique modifie la valeur de la chronaxie¹.

J'ai fait l'expérience sur plusieurs sujets normaux. d'une part sur le biceps et, d'autre part, sur l'extenseur commun des doigts.

La chronaxie est mesurée au pistolet de Weiss.

La rhéobase est vérifiée après chaque mesure de chronaxie. Sur le même sujet, sur le même muscle, j'ai fait des déterminations successives en mettant, d'abord, 10 000 ω en série, puis 20 000 ω , puis environ 40 000 ω .

Sur aucun sujet, ni sur le biceps, ni sur l'extenseur commun, je n'ai observé la moindre variation de la chronaxie, et cependant, dans les expériences sur le biceps, les voltages rhéobasiques ont été du même ordre de grandeur que dans les mesures de A. Strohl et A. Dognon : dans une expérience par exemple, j'ai eu successivement un voltage rhéobasique de 16 v, 37 v, 56 v, valeurs comparables à celles de 16 v, 32 v et 56 v que Strohl et Dognon ont eues pour le même muscle.

Voici quelques exemples de ces expériences :

Expériences. — Montage en série. — Pistolet de Weiss. — 1 cm d'écart des fils = 0,043. — Méthode monopolaire. — Électrodes impolarisables.

1. G. BOURGUIGNON. Indépendance de la mesure de la chronaxie et des variations expérimentales du voltage rhéobasique chez l'Homme. *C. R. de la Soc. de Biologie*, t. LXXXVII, n° 27, p. 610 (séance du 22 juillet 1922); et : La mesure de la chronaxie à travers les téguments. Réponse à M. STROHL (Communication au Congrès de Montpellier de l'A. F. A. S., d'août 1922). *Journal de Radiologie et d'Électrologie*, t. VI, n° 11, novembre 1922.

MUSCLES	RÉSISTANCE EN SÉRIE EN OHMS	VOLTAGE RHÉOBASIQUE		CHRONAXIE	
		PREMIÈRE MESURE	VÉRIFICATION A LA FIN DE L'EXPÉRIENCE	ÉCART DES FILS EN CENT.	τ
Biceps. — Point moteur Sujet 1. Mr T. 28 mars 1922.	10.000	16	15	2 cm	0 σ ,086
	24.000	37	37	2 cm	0 σ ,086
	40.000 env.	56	56	2 cm	0 σ ,086
Extenseur commun des doigts (Faisceau du 4 ^e doigt) Point moteur. — Sujet 1. M. T. 24 avril 1922.	10.000	23	21	9 cm	0 σ ,39
	20.000	36	37	9 ^{cm} ,5	0 σ ,41
	40.000 env.	70	69	10 cm	0 σ ,43
Sujet 2. — Mme L. R. 21 avril 1922.	10.000	33	32	12 cm	0 σ ,52
	20.000	57	55	13 ^{cm} ,5	0 σ ,58
	40.000 env.	61	55	12 ^{cm} ,5	0 σ ,54

Sur le Biceps, les chronaxies ont été exactement les mêmes. Sur l'extenseur commun du premier sujet, l'écart a été de 10 pour 100 entre la plus grande et la plus petite chronaxie (0 σ ,39 à 0 σ ,43) en le calculant sur la plus petite. Le même calcul appliqué à l'extenseur commun du 2^e sujet montre que l'écart entre la plus grande et la plus petite chronaxie (0 σ ,52 à 0 σ ,58) a été de 11 pour 100. C'est dire que les écarts maxima observés sont ceux de l'approximation des mesures. De telles chronaxies sont à considérer comme égales.

Les résistances que j'emploie sont donc parfaitement suffisantes pour se mettre à l'abri de toute erreur due à la polarisation ou à autre chose.

De ces expériences, confirmatives de la totalité des expériences si variées que j'ai faites pour contrôler la technique que j'ai adoptée, je puis tirer la conclusion que la mesure de la chronaxie à travers les téguments, avec les montages que j'utilise, est bien indépendante des variations expérimentales du voltage rhéobasique, *lorsqu'on n'emploie pas de résistances additionnelles inférieures à celles que j'ai indiquées*. Ces expériences valident toutes mes recherches sur la chronaxie mesurée à travers les téguments, avec le pistolet de Weiss et avec les condensateurs.

Comment peut-on, alors, expliquer les résultats contradictoires de A. Strohl et A. Dognon? Il m'est difficile de répondre catégoriquement à cette question, les auteurs ne donnant pas assez de détails techniques dans leurs publications.

Cependant, en examinant de près leurs expériences, on s'aperçoit que leur valeur démonstrative n'est pas aussi grande qu'on pourrait le croire; et, avec ce que nous savons du montage de l'égersimètre, on peut faire une hypothèse plausible pour expliquer la contradiction. Remarquons d'abord que, dans les expériences de la 1^{re} série de

A. Strohl et A. Dognon, nous trouvons les mesures du même muscle, le biceps, sur deux sujets différents faites dans les mêmes conditions expérimentales ($20\,000\,\omega$ en série); or, ces auteurs trouvent, sur un sujet qu'ils considèrent comme normal, une chronaxie de $0\sigma,1$, et, sur l'autre, tout aussi normal, une chronaxie de $0\sigma,3$. Nous verrons, quand j'étudierai la chronaxie des différents muscles, que je n'ai jamais trouvé d'écarts aussi grands (dans le rapport de 1 à 3) d'un sujet à l'autre sur le même muscle et mes expériences ne portent pas, pour chaque muscle, sur une dizaine de sujets, mais sur des centaines actuellement.

De deux choses l'une: ou les sujets étaient normaux, et les auteurs n'ont pas pris toutes les précautions que j'ai longuement étudiées plus haut pour vérifier la situation de l'électrode et le point moteur, ou l'examen des sujets n'a pas été suffisant et l'un des deux s'est trouvé présenter une légère anomalie pathologique.

Sur la totalité de mes expériences, j'ai dû abandonner environ 1 pour 100 des sujets considérés comme normaux: chaque fois que j'ai trouvé une chronaxie un peu trop grande (2 à 3 fois la valeur que je considère comme normale) j'ai toujours découvert chez le sujet une cause pathologique capable d'expliquer le chiffre anormal.

Si nous laissons de côté cette variation, impressionnante au premier abord, de 1 à 3, que les auteurs ont trouvée sur le biceps d'un sujet à un autre, les variations qu'ils donnent pour les autres muscles sont loin d'avoir la même valeur et ne dépassent guère les limites des erreurs expérimentales.

Que conclure d'une variation de $0\sigma,1$ à $0\sigma,16$ ou d'une variation de $0\sigma,30$ à $0\sigma,40$ par exemple? Tout au plus qu'elles dépassent à peine ce qu'on peut avoir d'une expérience à l'autre quand on n'opère pas avec toute la minutie désirable. Sans compter qu'il manque, dans les expériences de ces auteurs, la vérification de la rhéobase après la prise de la chronaxie.

Il reste, cependant, que les variations paraissent systématiques. Là, je trouve une explication dans le mode de montage de l'éger-simètre.

A. Strohl, en effet (il le dit expressément dans sa communication à la Société d'Electrothérapie) a eu en vue l'emploi de piles comme source.

Or, ainsi que je l'ai expliqué en étudiant la technique, les piles n'ont pas un débit suffisant pour qu'on puisse se servir d'un réducteur de potentiel de résistance assez faible pour fonctionner réellement comme réducteur de potentiel. J'ai montré que le rapport de $500\,\omega$ (réducteur de potentiel) à $10\,000\,\omega$ (circuit d'utilisation) est une limite au-dessous de laquelle il ne faut pas descendre.

Si le réducteur a une résistance plus grande (et il ne peut en être autrement quand on utilise les piles) la résistance du circuit d'utili-

sation étant la même, il arrive que, lorsqu'on double le voltage rhéobasique, le circuit d'utilisation étant ouvert, au moment de la fermeture de ce circuit, le voltage augmente. On trouve donc une chronaxie trop petite. Lorsqu'on augmente la résistance du circuit d'utilisation, l'erreur diminue: la chronaxie paraît augmenter.

Cette hypothèse explique que A. Strohl et A. Dognon ont cru voir que la résistance à ajouter pour mesurer correctement la chronaxie varie avec l'excitabilité de chaque muscle. S'il en avait été ainsi, la mesure de la chronaxie aurait été impossible à travers les téguments.

Mes expériences démontrent qu'heureusement il n'en est pas ainsi.

Le contrôle que j'ai fait des expériences de A. Strohl et A. Dognon avec les résistances sans self rend inutile d'entrer dans la critique de l'idée, fort discutable, d'introduire une self en série pour mesurer la chronaxie.

Je n'insisterai pas non plus, sur les critiques, toutes théoriques d'ailleurs, que A. Strohl fait au cours des travaux que j'ai cités, de l'emploi des condensateurs pour mesurer la chronaxie à travers le revêtement cutané. Toute discussion théorique tombe devant la concordance expérimentale absolue entre les résultats des mesures avec les condensateurs et avec le pistolet de Weiss. Les dernières expériences que je viens d'exposer réduisent à néant les craintes que les recherches de A. Strohl et A. Dognon auraient pu faire naître sur les techniques que j'ai employées. Mes expériences démontrent que ces techniques mettent bien à l'abri des erreurs dues à l'interposition de la peau.

V

CINQUIÈME SÉRIE D'EXPÉRIENCES

LOIS DE HOORWEG ET DE WEISS CHEZ L'HOMME ET CHEZ LE CHIEN

Pour compléter mes expériences, je me suis assuré enfin qu'on peut obtenir de bonnes lois de Hoorweg et de Weiss chez l'Homme dans les conditions de circuit dans lesquelles je me suis placé.

Si les montages que j'emploie, en effet, ne réalisaient pas la fixité de la résistance totale du circuit, il serait impossible de retrouver sur l'Homme des lois comparables à celles qu'on trouve sur les nerfs et muscles dénudés; on ne devrait pas, non plus, retrouver de concordance entre la chronaxie mesurée expérimentalement sur un nerf ou un muscle donnés, et les constantes de la loi de Weiss ou d'Hoorweg établie sur le même muscle.

Or, l'expérience a montré encore ici une concordance parfaite. C'est une preuve de plus que les conditions de mes expériences évitent les causes d'erreur dues à la peau.

En faisant ces lois, j'ai retrouvé exactement tous les faits signalés par L. Lapique et Mme Lapique avec une précision telle qu'on peut dire que ces expériences confirment toutes mes expériences précédentes.

La loi de Weiss et la loi de Hoorweg apparaissent comme des lois approchées et non comme des lois exactes. Les quantités liminaires forment sensiblement une droite dans une partie seulement de leur étendue.

Pour les temps très courts ou les capacités très petites, les points forment une courbe, concave vers l'axe des abscisses, et qui raccorde la droite à l'origine des axes.

Pour les temps très longs ou les très grandes capacités, au contraire, la droite se continue par une courbe qui se relève et est concave vers l'une des ordonnées.

Dans mes expériences, j'ai trouvé plus constamment les points situés au-dessous de la droite près de l'origine des axes, que les points situés au-dessus à l'autre extrémité: c'est que je n'ai pas toujours porté sur mes graphiques les points pour des temps assez longs. Quand je l'ai fait, j'ai trouvé l'amorce de ce relèvement de la courbe.

J'ai vu aussi que, lorsqu'on veut déterminer la chronaxie sur les graphiques, il règne toujours une certaine incertitude, tenant justement à ce que la loi n'est qu'approchée et qu'on peut construire la droite des quantités avec une inclinaison un peu plus grande ou un peu moins grande.

Cependant, j'ai contrôlé que les chronaxies ainsi mesurées sont assez voisines des chronaxies expérimentales.

En somme, en faisant des lois, je n'ai trouvé des résultats ni plus ni moins précis que les auteurs qui ont opéré sur les nerfs dénudés des animaux: la peau n'a donc encore apporté aucun trouble à l'expérience.

Lorsqu'on calcule, sur les chiffres de l'expérience, les valeurs de a et de b , on trouve aussi des écarts du même ordre de grandeur que ceux qu'ont signalés tous ceux qui ont discuté à fond la loi d'excitation, ce qui n'est pas mon objet dans ce travail.

Pour me rendre compte, enfin, de la loi d'excitation chez les mammifères, d'une façon générale, j'ai fait, avec Barré, antérieurement et préalablement à mes recherches sur la chronaxie de l'Homme, des expériences, restées inédites jusqu'à présent, sur le nerf sciatique du Chien; les lois établies sur le nerf sciatique du Chien, dénudé et après section, sont du même ordre de précision que celles que j'ai obtenues sur l'Homme à travers les téguments.

Entrons maintenant dans l'étude plus détaillée de ces faits, en prenant quelques exemples parmi les expériences que j'ai faites.

A. — Lois de Hoorweg chez l'Homme.

Les expériences ont été faites en méthode monopolaire, avec le montage habituel en dérivation.

Expérience du 27 mai 1916. — Long supinateur gauche. Sujet normal. Homme. Méthode monopolaire. Electrodes impolarisables.

On commence par faire la mesure directe de la chronaxie. Ensuite, on fait une loi en prenant des capacités croissantes et en cherchant le voltage liminaire pour ces capacités. L'expérience est terminée par une nouvelle mesure directe de la chronaxie.

1° Mesures directes de la chronaxie.

1 ^{re} mesure :	Rhéobase en volts, avec une capacité de 40 mf. .	51 v
	Chronaxie $C\tau = 0 \text{ mf}, 02$	$\tau = 0 \sigma, 08$
2 ^e mesure :	Rhéobase avec 40 mf	45 v
	$C\tau = 0 \text{ mf}, 03$	$\tau = 0 \sigma, 12$

2° Loi de Hoorweg (voir fig. 16).

CAPACITÉ EN MICROFARADS	VOLTAGE LIMINAIRE EN VOLTS	QUANTITÉ D'ÉLECTRICITÉ (CV) EN MICROCOULOMBS
0 mf,01	107	1 mc,07
0 mf,02	83	1 mc,66
0 mf,03	78	2 mc,34
0 mf,05	65	3 mc,25
0 mf,10	57	5 mc,70
0 mf,5	42	21 mc
1 mf	40	40 mc
2 mf,5	37	92 mc
3 mf	37	111 mc
4 mf	38	152 mc
5 mf	38	190 mc

3° Mesures directes de la chronaxie.

a) On prend comme rhéobase 38 v. $C\tau = 0 \text{ mf}, 02$. $\tau = 0 \sigma, 08$.

b) On refait une mesure complète en reprenant la rhéobase avec 40 mf. Rhéobase = 35 v. Chronaxie. — $C\tau = 0 \text{ mf}, 02$. $\tau = 0 \sigma, 08$.

Le graphique construit est représenté par la figure 16. On voit que la loi est très régulière.

Sur le graphique on trouve :

$$a = 1 \text{ mc}$$

$$b = 37 \text{ v}, 5$$

le voltage ayant oscillé entre 37 v et 38 v avec les grandes capacités.

$$\frac{a}{b} = 0 \text{ mf}, 026 \quad \tau = 0 \sigma, 10.$$

En calculant b et $\frac{a}{b}$ entre des points assez éloignés on trouve encore des chiffres concordants.

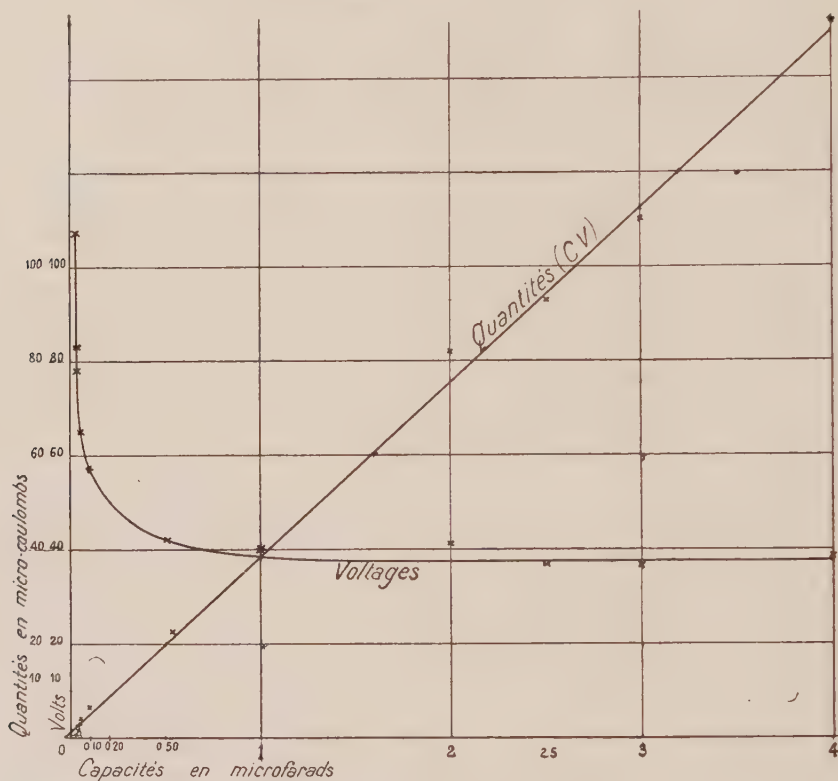


FIG. 16. — LOI DE HOORWEG. — HOMME.

Long supinateur gauche. — Point moteur. — Expérience du 27 mai 1916.

$$a = 1 \text{ microcoulomb} \quad b = 37 \text{ v, } 5 \quad \frac{a}{b} = 0 \text{ mf, } 026 \\ \tau = 0 \text{ mf, } 026 \times 4 \sigma = 0 \sigma, 10$$

Ainsi, en prenant pour faire le calcul des points ayant comme abscisses 1 mf et 0 mf, 03 on trouve :

$$b = 38 \text{ v, } 8 \quad a = 1 \text{ mc, } 176 \\ \frac{a}{b} = 0 \text{ mf, } 032 \quad \tau = 0 \sigma, 13.$$

Mais si on fait le calcul en prenant les capacités donnant des voltages liminaires trop rapprochés de la rhéobase, les erreurs deviennent non négligeables.

C'est pourquoi j'ai dit que, lorsqu'on ne peut pas doubler le voltage, on ne peut pas se permettre de calculer la capacité chronaxique si on ne peut obtenir un voltage au moins égal à $1,5 b$ pour chercher la capacité qui servira à calculer la chronaxie.

J'ai fait aussi une autre vérification.

J'ai calculé les quantités CV pour les différentes capacités employées en prenant d'une part les valeurs de a et b données par la construction graphique et d'autre part les valeurs de a et b calculées entre 1 mf et 0 mf, 03 et je les ai comparées aux quantités expérimentales. On trouve une concordance satisfaisante :

CAPACITÉ	QUANTITÉ CALCULÉE POUR $a = 1$ mc ET $b = 37$ v,5	QUANTITÉ CALCULÉE POUR $a = 1$ mc,176 ET $b = 38$ mc,8	QUANTITÉ EXPÉRIMENTALE	ERREUR PAR RAPPORT AU CHIFFRE DE L'EXPÉRIENCE	
				COURBE	CALCUL
0 mf,01	1 mc,037	1 mc,56	1 mc,07	30 %	45 %
0 mf,02	1 mc,075	1 mc,95	1 mc,66	35 %	17 %
0 mf,03	2 mc,125	2 mc,34	2 mc,34	9,6 %	0
0 mf,05	2 mc,875	3 mc,11	3 mc,25	10 %	4,3 %
0 mf,1	4 mc,75	5 mc,05	5 mc,7	16 %	11 %
0 mf,5	19 mc,75	20 mc,57	21 mc	5,9 %	2 %
1 mf	38 mc,5	39 mc,98	40 mc	3,7 %	0,05 %

Si on laisse de côté les deux premiers points, qui sont nettement en dessous de la droite, on voit que l'erreur entre la quantité calculée et la quantité expérimentale, varie de 3,7 pour 100 à 16 pour 100 par défaut, pour les quantités calculées sur les données du graphique et de 0 à 11 pour 100 par excès (capacités inférieures à 0 mf,03) ou par défaut (capacités supérieures à 0 mf,03) pour les points calculés en prenant a et b déterminés par le calcul entre 0 mf,03 et 1 mf.

Comparons les différentes valeurs de a et de $\frac{a}{b}$ ainsi obtenues, avec les différentes valeurs de la rhéobase et de la chronaxie expérimentales; nous trouvons :

BASE DES CALCULS	1° RHÉOBASES ET CHRONAXIES EXPÉRIMENTALES				
	RHÉOBASE			CHRONAXIE	
				C τ	τ
	35 v			0 mf,02	0 σ ,08
	38 v	43 v	51 v	0 mf,03	0 σ ,12
	2° CHRONAXIES et RHÉOBASES TIRÉES DE LA LOI DE HOORWEG				
	a	b	$\frac{a}{b}$	$\frac{a}{b} \times 4 \sigma$	
Graphique.	1 mc	37 v,5	0 mf,026	0 σ ,10	
Calcul entre 1 mf et 0 mf,03	1 mc,176	38 v,8	0 mf,032	0 σ ,13	

La concordance de ces différentes valeurs est très satisfaisante.

Il n'en est plus de même lorsqu'on calcule a et b en prenant des points trop rapprochés l'un de l'autre, avec des voltages trop voisins de la rhéobase, comme les points de la droite correspondant à 1mf (40v) et 0 mf,5 (42 v); 0 mf,5 (42 v) et 0 mf,1 (57 v); 0 mf,05 (65 v) et 0 mf,1 (57 v).

Le calcul donne, en effet :

BASE DES CALCULS	a	b	$\frac{a}{b}$	$\frac{a}{b} \times 4\sigma$
Entre 1 mf et 0 mf,5 . . .	2 mc	38 v	0 mf,05	0 σ ,20
— 0 mf,5 et 0 mf,1 . .	1 mc,88	38 v,2	0 mf,06	0 σ ,24
— 0 mf,1 et 0 mf,05 . .	0 mc,8	49 v	0 mf,016	0 σ ,064

Au contraire, en prenant des points assez voisins l'un de l'autre, mais avec des voltages très éloignés de la rhéobase, les résultats du calcul se rapprochent des résultats expérimentaux et de ceux que donne le calcul lorsqu'il est fait entre deux points de la droite suffisamment différents. C'est ce qu'on peut voir en prenant pour le calcul les capacités de 0 mf,05 (65 v) et 0 mf,03 (38 v) ou 1 mf (40 v) et 0 mf,05 (65 v). En comparant les résultats de ces calculs avec les résultats expérimentaux, on voit qu'ils s'en rapprochent beaucoup, comme dans la comparaison des valeurs de a et $\frac{a}{b}$ tirées du graphique et calculées entre 1 mf (40 v) et 0 mf,03 (78 v).

BASE DES CALCULS	1° RHÉOBASES et CHRONAXIES EXPÉRIMENTALES			
	RHÉOBASES		CHRONAXIES	
	35 v à 43 v		0 mf,02 0 mf,03	0 σ ,08 0 σ ,12
	a	b	$\frac{a}{b}$	$\frac{a}{b} \times 4\sigma$
Graphique.	1 mc	37 v,5	0 mf,026	0 σ ,10
1 mf et 0 mf,03.	1 mc,176	38 v,8	0 mf,032	0 σ ,13
0 mf,05 (65 v) et 0 mf,03 (78 v).	0 mc,99	45 v	0 mf,022	0 σ ,088
1 mf (40 v) et 0 mf,05 (65 v) . .	1 mc,32	38 v,6	0 mf,034	0 σ ,136

Il ressort bien de cette étude que la loi n'est qu'approchée et qu'on ne peut calculer la chronaxie au lieu de la mesurer directement que dans les trois conditions suivantes :

1° En prenant la rhéobase expérimentale et la capacité liminaire pour un voltage au moins égal à 1,5 b comme je l'ai dit en décrivant la technique.

2° En calculant à la fois a et b entre deux capacités petites, voisines de la capacité chronaxique.

3° En calculant à la fois a et b entre deux capacités très différentes.

B. — Lois de Weiss chez l'Homme.

1° **Rhéotome balistique de Weiss.** — J'ai fait des lois de Weiss sur quelques sujets, tantôt sur des muscles de petite chronaxie, tantôt sur des muscles de grande chronaxie. J'ai employé tantôt le montage en série et tantôt le montage en dérivation. Les deux montages donnent les mêmes résultats. Les lois de Weiss mettent en évidence les différences qui séparent les muscles normaux de l'Homme aussi nettement que les mesures directes de la chronaxie. Les lois obtenues sont très bonnes. On y retrouve les mêmes particularités que sur les lois d'Hoorweg et notamment les points de raccordement de la droite des quantités avec l'origine des axes de L. Lapicque.

Les lois sont plus délicates à établir avec le rhéotome balistique de Weiss qu'avec les condensateurs. Entre deux excitations successives, le temps qui s'écoule est beaucoup trop long avec le pistolet pour permettre de vérifier le point moteur, ce qu'on réalise facilement à chaque instant avec les condensateurs. Pour arriver à de bons résultats, il faut user d'un moyen détourné. Pendant que l'aide installe les fils que doit couper la balle et charge le pistolet, on exclut le pistolet au moyen du commutateur dont j'ai parlé et on vérifie la situation de l'électrode en faisant des passages alternatifs aussi brefs que possible de courant continu. Dès qu'on est sûr d'être bien placé, on réintroduit vite le pistolet en circuit et on commande de tirer. Entre chaque excitation, on procède de même. Moyennant ces précautions, on obtient d'aussi bonnes lois de Weiss que la loi de Hoorweg de la fig. 16. Voici deux exemples qui le montrent, l'un sur un biceps, l'autre sur un extenseur commun. Le plus souvent, j'ai fait une mesure de comparaison en condensateurs.

a) *Expérience du 4 juin 1921.* — Mlle L.... — Sujet normal. Biceps droit au point moteur. Rhéotome balistique de Weiss. — Montage en dérivation (même circuit que pour les condensateurs). — Electrodes impolarisables. — Méthode monopolaire. — Etablissement d'une loi de Weiss. — Rhéobase vérifiée au cours de l'expérience et à la fin. — Comparaison avec la chronaxie mesurée directement avec les condensateurs et avec le pistolet. Les deux mesures de chronaxie ont été faites à la suite l'une de l'autre, sans reprendre la rhéobase. — La loi de Weiss a été établie en cherchant la durée de passage du courant liminaire pour des voltages décroissants, à partir du voltage

double de la rhéobase. Les points d'inflexion vers l'origine des axes

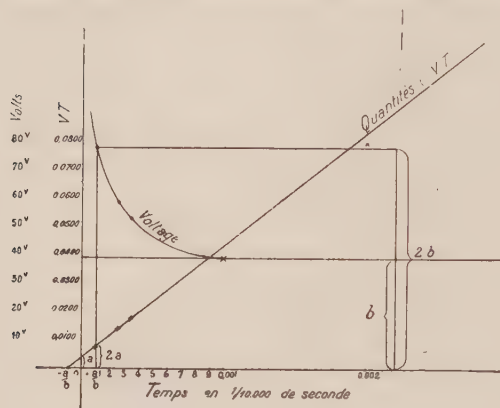


FIG. 17. — LOI DE WEISS. — HOMME.

Expérience du 4 juin 1921.

Biceps droit au point moteur.

$$\alpha = 3,5 \quad b = 39 \text{ v} \quad \tau = \frac{a}{b} = 0 \text{ s}, 09.$$

font donc défaut dans cette expérience (voir fig. 17), car on les trouve toujours pour des durées inférieures à la chronaxie. — La droite des quantités a été établie en faisant le produit Vt . — La rhéobase a été vérifiée avec le courant continu fermé à la main. — Une nouvelle mesure de chronaxie a été faite avec les condensateurs et avec le pistolet. L'expérience a été terminée par une vérification de la rhéobase avec le pistolet, en mettant les fils à 2 m. l'un de l'autre, puis l'intensité a été mesurée avec le voltage rhéobasique vérifié.

4° Mesures directes de la chronaxie.

Rhéobase mesurée avec une fermeture prolongée à la main. — Chronaxie mesurée, pour la même rhéobase avec le pistolet et avec les condensateurs.

Pistolet : $\tau = D \times 0 \text{ s}, 04$.

Condensateurs : $\tau = C \tau \times 4 \text{ s}$.

RHÉOBASE		CHRONAXIE			
		CONDENSATEURS		PISTOLET	
VOLTAGE	INTENSITÉ	$C \tau$	τ	D	τ
39 v	1 mA,4	0 mf,63	0 s,12	2 cm,5	0 s,10

2° Loi de Weiss (voir fig. 17).

VOLTAGE	TEMPS		Vt
	D	$t = D \times 0 \text{ s}, 04$	
78 v	2 cm,5	0 s,10	7,8
58 v,5	6 cm	0 s,24	14
52 v	8 cm	0 s,32	16,6
36 v	2 m	8 s	288

3° Vérification de la rhéobase et de la chronaxie.

RHÉOBASE		CHRONAXIE				RHÉOBASE VÉRIFIÉE PISTOLET A 2 M.	
VOLTAGE	INTENSITÉ	CONDENSATEURS		PISTOLET		VOLTAGE AU PISTOLET	INTENSITÉ COURANT CONTINU
		C τ	τ	D	τ		
36 v	1 mA,4	0 mf,03	0 σ ,12	3 cm	0 σ ,12	36 v	1 mA,4

Cette expérience vérifie d'abord l'égalité de la chronaxie mesurée avec les condensateurs et avec le pistolet de Weiss, monté sur le même circuit avec shunt que les condensateurs.

Si on cherche la valeur de la chronaxie sur la courbe qui a été construite en prenant $b = 39$ v, mesure de la 1^{re} rhéobase, on trouve : $\tau = 0 \sigma,09$, valeur très voisine de celles de la chronaxie mesurée directement avec le pistolet, mesures qui ont donné $\tau = 0 \sigma,10$ et $\tau = 0 \sigma,12$.

Sur le graphique, $a = 3,5$ $b = 39$ v $\frac{a}{b} = 0 \sigma,09$.

Si nous répétons, sur cette loi, les mêmes comparaisons que nous avons faites à propos de la loi d'Hoorweg nous retrouvons, bien que le nombre des points expérimentaux ait été plus restreint, les mêmes faits qu'avec les condensateurs.

Comparons donc a , b , et $\frac{a}{b}$ tirés du graphique, avec les valeurs tirées du calcul effectué entre les différents points de la loi.

	a	b	$\frac{a}{b}$	τ MESURÉE DIRECTEMENT
Graphique	3,5	39 v	0 σ ,09	} 0 σ ,10 à 0 σ ,12
Calcul entre 78 v. et 52 v.	3,8	40 v	0 σ ,095	
— 78 v. et 58,5.	3,44	44 v	0 σ ,08	
— 58 v,5 et 52 v.	7,8	32 v,5	0 σ ,2	

Ici encore c'est le calcul entre des points éloignés qui donne les résultats les plus voisins des résultats des mesures directes et des mesures sur le graphique.

C'est le calcul fait avec des voltages plus rapprochés de b qui donne les écarts les plus grands.

L'étude de cette loi de Weiss aboutit donc aux mêmes conclusions que celle de la loi d'Hoorweg.

b). — *Expérience du 19 juin 1921.* — M. B.... — Sujet normal. — Extenseur commun des doigts (faisceau des 3^e et 4^e doigts). — Point moteur. Rhéotome balistique de Weiss. — Montage en série; Résistance en série = 20 000 ω . — Electrodes impolarisables. — Méthode monopolaire.

Il n'y a pas eu de mesures de la chronaxie avec les condensateurs.

La loi de Weiss a été établie en cherchant le voltage liminaire pour des durées de passage de courant croissantes, $t = D \times 0,044$.

TEMPS		VOLTAGES	Vt
D	t		
2 cm.	0 σ ,088	164 ^v	14,43
5 cm.	0 σ ,22	97	21,34
10 cm.	0 σ ,44	80	35,20
15 cm.	0 σ ,66	68	44,88
20 cm.	0 σ ,88	62	54,56
30 cm.	1 σ ,32	51	66,30
75 cm.	3 σ ,3	50	165
100 cm.	4 σ ,4	43	189,2
150 cm.	6 σ ,6	39	257,4
200 cm.	8 σ ,8	39	343,2

En portant les temps en abscisses, et les voltages et les quantités Vt en ordonnées, on obtient l'hyperbole et la droite de la figure 18. Sur le graphique, les points correspondants à 6 σ ,6 et à 8 σ ,8 n'ont pas été portés.

On voit nettement, sur ce graphique, les points infléchis vers l'origine des axes, du côté des temps courts, mais on ne voit pas de relèvement des points en forme de courbe concave en haut, du côté des temps longs.

En cherchant les valeurs de a et de $\frac{a}{b}$ sur le graphique (voir fig. 18) construit avec $b = 39$ v, on trouve :

$$a = 18,5 \quad b = 39 \text{ v} \quad \frac{a}{b} = 0 \sigma,47.$$

La valeur de $\frac{a}{b}$ ainsi déterminée, peut être considérée comme égale à la chronaxie expérimentale, puisque c'est le temps lu pour $V = 78$ v, qui est très voisin du point expérimental correspondant à 80 v.

En effectuant les mêmes calculs que sur les deux lois précédentes, on retrouve encore les mêmes faits. Lorsqu'on calcule a et b entre des points très distants l'un de l'autre, on trouve sensiblement les valeurs des mesures directes. On s'en éloigne un peu en prenant des points

voisins l'un de l'autre correspondant à des temps courts. On s'en éloigne beaucoup en prenant des points correspondant à des voltages voisins de la rhéobase.

Enfin, j'ai contrôlé ici que le calcul effectué en prenant la rhéobase

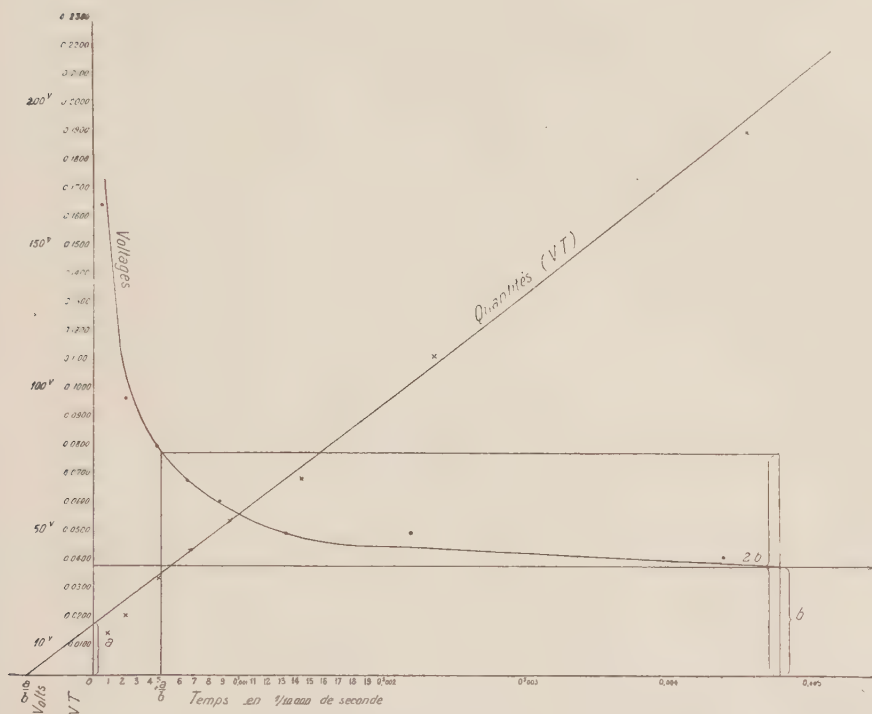


FIG. 18. — LOI DE WEISS. — HOMME.

Extenseur commun des doigts gauche (Point moteur).

Expérience du 19 juin 1921.

$$a = 18,5 \quad b = 39 \text{ v} \quad \frac{a}{b} = 0,47$$

et le temps correspondant à $b + \frac{b}{2}$ donne un résultat satisfaisant.

Voici quelques-uns de ces calculs.

BASE DES CALCULS	a	b	$\frac{a}{b}$
Valeurs expérimentales tirées du graphique	18,5	39 ^v	0,47
Calcul entre 0,66 (68 v.) et 4,4 (43 v.) . .	19,47	38 ^v ,5	0,50
— — 0,66 (68 v.) et 0,88 (62 v.) . .	15,84	44 ^v	0,36
— — 3,3 (50 v.) et 4,4 (43 v.) . .	92,40	22 ^v	3,8

Calcul en prenant la rhéobase expérimentale (39 v) et le point le plus rapproché de $37 \text{ v} \times 1,5 = 55,5$. Ce point est celui pour lequel le voltage liminaire a été de 62 v.

$$a = C(v - b) = 15,6 \quad b = 59 \text{ v} \quad \frac{a}{b} = 0,264.$$

Cette expérience comporte les mêmes conclusions que les précédentes.

Je retrouve donc sur l'homme tout ce que L. Lapicque a vu sur les animaux hétérothermes.

La comparaison des lois de Weiss sur le biceps et sur l'extenseur commun met en évidence les différences de chronaxie de ces deux muscles, puisque $\frac{a}{b} = 0,264$ pour le biceps et $0,47$ pour l'extenseur.

C'est une nouvelle vérification des résultats obtenus avec les condensateurs.

2° **Chronaximètre de L. Lapicque**¹. — Antérieurement à ces recherches, j'avais déjà fait un contrôle analogue des chronaxies mesurées

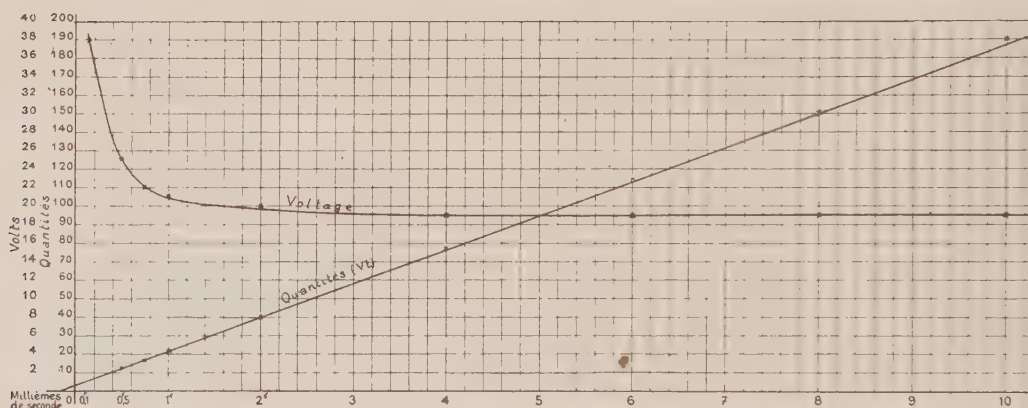


FIG. 19. — LOI DE WEISS. — HOMME. — BICEPS.
Chronaximètre.

Expérience du 28 février 1918.

avec les condensateurs par des lois de Weiss faites au moyen du chronaximètre de L. Lapicque, dont je disposais au Centre de Neurologie de la 10^e région, alors que je ne possédais pas de pistolet de Weiss.

Le chronaximètre de L. Lapicque est un appareil qui fournit des ondes rectangulaires de durées variables à volonté, comprises entre

1. L. LAPICQUE. Techniques nouvelles pour l'électrodiagnostic. *C. R. Acad. des Sciences* 22 novembre 1915.

1/1000 et 1/10 de seconde. Il est constitué par un poids qui, en tombant, met en mouvement une aiguille fixée à un pivot. Dans sa

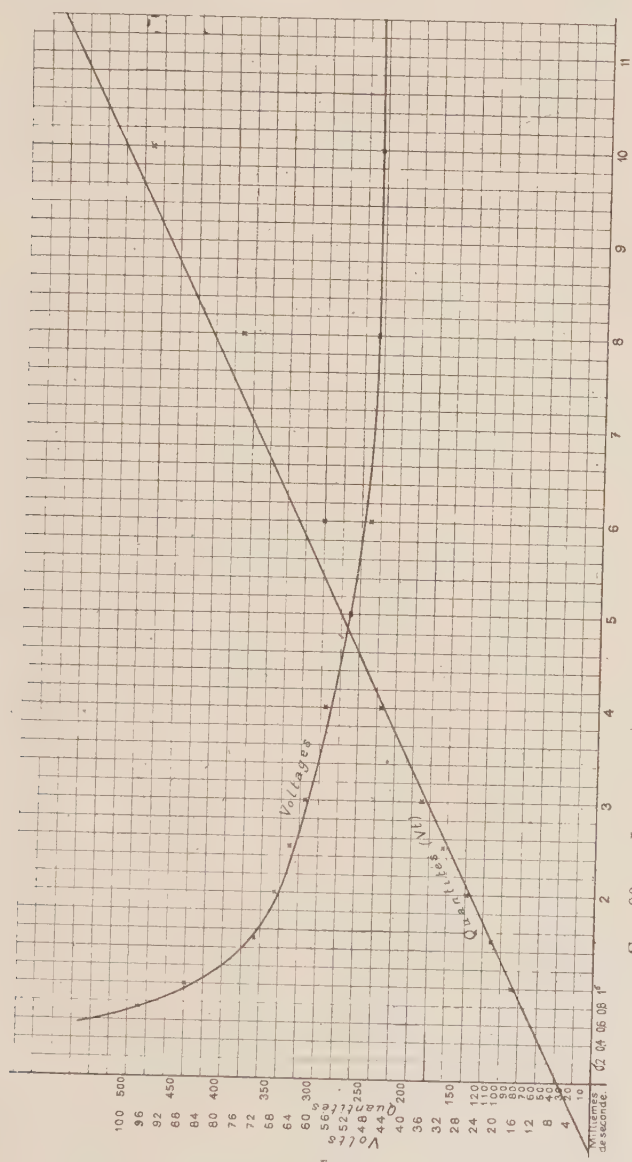


FIG. 20. — LOI DE WEISS. — HOMME. — EXTENSEUR COMMUN DES DOIGTS.
Chronomètre.
Expérience du 27 février 1918.

rotation, l'aiguille rencontre successivement deux cames qui agissent sur deux contacts. La 1^{re} came, en s'abaissant, ferme le circuit, la 2^e l'ouvre. L'un des deux contacts est fixe; l'autre est mobile et peut être fixé en un point quelconque d'un cercle gradué dont chaque division correspond à 1/1000 de seconde.

En utilisant le chronaximètre seulement à partir de la 1^{re} division, on ne peut jamais mesurer de chronaxies normales chez l'homme, puisqu'elles sont toutes comprises entre 1/10 000 et 5/10 000 ou 6/10 000 de seconde. Mais on peut apprécier assez bien la 1/2 division et même le 1/4 de division.

Dans ces conditions, en fixant le contact mobile au milieu de la distance qui sépare le 0 du 1^{er} trait, on obtient une durée sensiblement de 0 σ ,5 et en le fixant aux 3/4 de cette distance, une durée de 0 σ ,75 sensiblement.

J'avais donc tenté de faire des lois de Weiss dans ces conditions un peu précaires.

Pour me mettre à l'abri des causes d'erreur dues aux téguments j'ai employé le montage que j'ai décrit pour le pistolet, ou le même montage que pour les condensateurs. Les résultats que j'ai obtenus concordent entièrement avec ceux que je viens d'exposer, avec un peu plus d'irrégularité quelquefois.

Ces lois mettent très bien en évidence la différence des chronaxies du biceps et des extenseurs, comme on le voit sur les graphiques des figures 19 et 20.

En raison des conditions dans lesquelles j'avais opéré avec le chronaximètre, je n'avais pas publié ces recherches.

Rapprochées des recherches plus précises que j'ai faites depuis, elles prennent au moins l'intérêt de montrer que, par des moyens différents, j'arrive toujours au même résultat et qu'on peut, avec des précautions, réaliser bien des choses avec des moyens même un peu rudimentaires.

Pour construire les droites de quantité, j'ai fait le produit $V t$. Pour construire l'hyperbole des voltages, j'ai ajouté le point correspondant à $\frac{a}{b}$ qui se trouve mesuré dans la construction de la droite, en lui donnant comme ordonnée le voltage $2b$.

On peut se rendre compte, sur les figures, que les hyperboles ainsi construites sont très satisfaisantes.

Voici les chiffres des expériences qui ont servi à construire les lois des figures 19 et 20 :

I. *Biceps*. — *Expérience du 28 février 1918*. — M. Mil... — Sujet normal. — Biceps au point moteur. — Méthode monopolaire. — Electrodes impolarisables. Petite électrode fixée par un bracelet élastique.

Montage en dérivation $\left\{ \begin{array}{l} 3\,000\ \omega \text{ dans le circuit général.} \\ 40\,000\ \omega \text{ en dérivation.} \\ 41\,000\ \omega \text{ en série dans la branche du sujet.} \end{array} \right.$

Chronaximètre de L. Lapique. — Loi de Weiss établie en cherchant le voltage liminaire pour des temps de passage du courant décroissants (voir fig. 19).

TEMPS	VOLTAGE	Vt	BASE DU CALCUL DE a ET b	a	b	$\frac{a}{b}$
10 σ	19 v.	190	graphique	3	19 v.	0 σ ,13
8 σ	19	152				
6 σ	19	1140	a et b calculés entre 1 σ et 0 σ ,5.	2	17	0 σ ,12
4 σ	19	760				
2 σ	20	40				
1 σ	21	21	a calculé entre b expérimental et 0 σ ,5.	2	19	0 σ ,10
0 σ ,75	22	16,5				
0 σ ,50	25	12,5				

II. *Extenseur commun des doigts.* — *Expérience du 27 février 1918.*
 — M. Mac... — Sujet normal. — Extenseur commun des doigts (Faisceau des 3^e et 4^e doigts). — Point moteur. — Méthode monopolaire. — Electrodes impolarisables. Petite électrode tenue à la main. — Montage en dérivation. — Mêmes résistances additionnelles que dans l'expérience précédente. — Chronaximètre. — Même mode de recherche de la loi (voir fig. 20).

Rhéobase cherchée d'abord avec une fermeture de courant continu : 49 v.

TEMPS	VOLTAGE	Vt	BASE DU CALCUL DE a ET b	a	b	$\frac{a}{b}$
Courant continu.	49 v.					
10 σ	49 v.	490	graphique	33	49 v.	0 σ ,73
8 σ	49	392				
6 σ	50	300	a et b calculés entre 1 σ et 5 σ	42,5	45,5	0 σ ,90
5 σ	54	270				
4 σ	59	236	a calculés entre b expérimental et 1 σ .	39	49	0 σ ,79
3 σ	63	189				
2 σ ,5	66	165				
2 σ	6	138				
1 σ ,5	73	110				
1 σ	88	88				

Ces expériences font ressortir la différence des chronaxies du Biceps et de l'Extenseur commun et montrent que les valeurs de $\frac{a}{b}$ tirées des graphiques et des calculs sont très voisines des chronaxies mesurées directement avec les condensateurs ou avec le pistolet de Weiss :

MUSCLE	CONDENSATEURS ET PISTOLET	CHRONAXIMÈTRE LOI DE WEISS
Biceps.	0 σ ,08 à 0 σ ,16	0 σ ,13
Extenseur commun	0 σ ,44 à 0 σ ,72	0 σ ,73

En examinant les droites faites avec le chronaximètre, on voit qu'il n'y a pas de points au-dessous de la droite vers l'origine : il ne pouvait en être autrement, le chronaximètre ne permettant pas de faire des temps de passage assez courts. Mais sur la droite du Biceps (voir fig. 19) on voit très nettement les points situés au-dessus d'elle, comme l'a signalé L. Lapicque pour les temps longs. Sur la droite de l'extenseur, ces points n'existent pas : je n'ai pas employé de temps suffisamment longs pour ce muscle qui a une chronaxie plus grande que le Biceps.

Toutes les conclusions tirées des lois faites avec le pistolet s'appliquent aux lois faites avec le chronaximètre : ces dernières sont donc très satisfaisantes.

C. — Loi de Hoorweg sur le Chien.

Les lois de Hoorweg et de Weiss obtenues sur l'Homme sont très comparables à celles qu'on obtient sur les nerfs et muscles dénudés de la Grenouille. La comparaison avec les mammifères présente, cependant, un grand intérêt surtout au point de vue des recherches expérimentales de physiologie pathologique. Aussi, avais-je commencé, avec la collaboration de A. Barré, dans le courant de l'année 1914, des recherches qui ont été interrompues par la mobilisation. Par suite de diverses circonstances, je n'ai pas encore pu les reprendre et elles sont restées inédites. Cependant, elles apportent des résultats intéressants à rapprocher de ceux que j'ai obtenus sur l'Homme et, ayant été faites sur le nerf dénudé, elles fournissent une comparaison entre les mesures sur les nerfs nus et à travers les téguments chez des êtres de la même classe.

Il n'y a aucune différence entre les lois obtenues sur l'Homme, à travers les téguments, et sur le Chien par excitation directe du nerf.

Ne sachant pas si les anesthésiques généraux pouvaient ou non modifier la chronaxie, nous avons opéré sur des chiens non anesthésiés.

La difficulté de ces expériences est d'obtenir une immobilité suffisante de l'animal. Nous avons résolu ce problème en sectionnant, à la fois

le nerf sciatique à sa sortie de l'échancrure, et le nerf crural au niveau de son trajet à travers le psoas. L'opération est facile et se fait très vite. La section des deux nerfs est nécessaire pour obtenir l'immobilité de la patte étudiée. L'animal étant bien fixé sur la table d'expérience, il n'y a plus aucune difficulté pour faire les mesures d'excitabilité.

Pour exciter le sciatique, on le découvre à son passage à la cuisse. On l'isole des tissus voisins par une feuille de caoutchouc et on place deux électrodes impolarisables, telles que celles de d'Arsonval, sur le nerf, assez loin l'une de l'autre. Cette préparation étant faite, on met le nerf à l'abri de la dessiccation en rapprochant les lèvres de l'incision cutanée avec quelques pinces. On prend les seuils par la contraction des jumeaux. Nous avons ainsi mesuré directement la chronaxie et établi des lois d'Hoorweg.

Voici un exemple de ces expériences :

Expérience du 1^{er} juin 1914. — Chien de 9 kg, de moins de 2 ans.

Patte postérieure droite. — Section du nerf sciatique à l'échancrure et du nerf crural dans le psoas. — Flaccidité parfaite et abolition complète du réflexe rotulien et du réflexe achilléen après la section.

Décharges de condensateurs. — Montage de L. Lapique (7000 ω dans le circuit général. — Shunt de 3000 ω . — 10 000 ω en série dans la branche de l'animal). — $R = 10\,000\ \omega$

$$\tau = RC \times 0,37.$$

Méthode bipolaire. — Electrodes impolarisables (Ag et AgCl) — Courant descendant.

Il est indispensable de mettre deux électrodes assez distantes l'une de l'autre. L'excitateur de L. Lapique ne peut servir : nous n'avons pu trouver les lois de Pflüger avec lui ; elles sont toujours inversées. Au contraire, en éloignant les électrodes l'une de l'autre, on trouve les lois de Pflüger normales : nous avons eu là, chez le Chien, sur un nerf en contact direct avec les électrodes, le même phénomène que celui qui avait causé le désaccord entre Erb et Eulenburg dans leurs recherches sur l'électrotonus dans l'excitation percutanée chez l'Homme.

Il est susceptible de la même explication. Ce fait prouve que, lorsqu'on opère sur des nerfs assez gros, comme ceux du Chien, il n'y a pas plus de contact immédiat entre l'électrode et le tissu excitable que chez l'Homme dans l'excitation percutanée.

Après nous être assurés que nous obtenions bien les lois de Pflüger du courant descendant, nous avons procédé aux mesures des seuils. Voici les résultats de cette expérience :

1^o Mesure directe de la chronaxie.

Rhéobase. — 5 v 6 (courant continu) Chronaxie $\left\{ \begin{array}{l} C\tau = 0 \text{ mf, } 12. \\ \tau = 0 \sigma, 44. \end{array} \right.$

2^o Loi de Hoorweg (voir fig. 21).

La loi est établie en cherchant le voltage liminaire pour des capacités croissantes.

CAPACITÉ EN MICROFARADS	VOLTAGE EN VOLTS	C V EN MICROCOULOMES
mf.	v.	mc.
0,01	28,4	0,284
0,05	15,7	0,785
0,1	11,2	1,12
0,2	7,4	1,48
0,5	5,9	2,95
1	5	5
2	4,6	9,2
3	4,4	13,2
10	4,4	44

3^o Mesure directe de la chronaxie après la prise de la loi.

Rhéobase (courant continu) = 4 v, 3 Chronaxie $\left\{ \begin{array}{l} C\tau = 0 \text{ mf, } 11. \\ \tau = 0 \sigma, 40. \end{array} \right.$

Sur le Chien, on retrouve encore les points situés au-dessous de la droite, près de l'origine des axes, comme toujours (voir fig. 21).

En tirant les valeurs a et b de la construction graphique, on trouve :

$$a = 0,44 \quad b = 4 \text{ v, } 4 \quad \frac{a}{b} = 0 \text{ mf, } 11 \text{ à } 0 \text{ mf, } 12 \quad \tau = 0 \sigma, 40 \text{ à } 0 \sigma, 44$$

En faisant les mêmes calculs que précédemment, on voit encore que le calcul basé sur des points assez éloignés l'un de l'autre donne un résultat trèsapproché de la mesure expérimentale tandis que lorsqu'on prend, pour faire le calcul, des points correspondant à des voltages trop voisins de b , les chiffres ne concordent plus aussi bien avec les résultats expérimentaux. Peut-être l'écart est-il un peu moins grand que chez l'Homme, au moins dans quelques expériences, mais il est de même sens.

VI

RÉSUMÉ

Si nous jetons un coup d'œil sur l'ensemble de nos recherches de technique, nous voyons que toutes les expériences concordent pour démontrer la précision et la certitude de la mesure de la chronaxie à travers les téguments.

Un certain nombre de points me paraissent bien établis, qu'on peut résumer de la manière suivante :

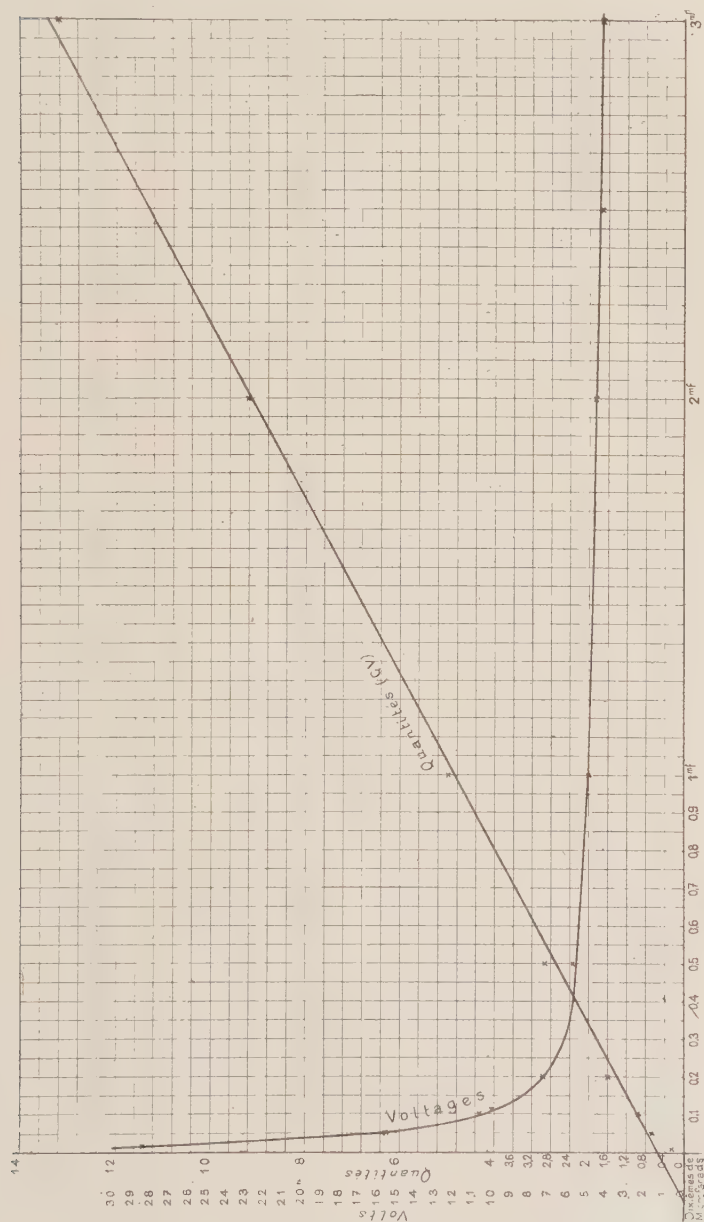


FIG. 21. — LOI DE HOORWEG. — CHIEN.
Nerf sciatique (seuil des jumeaux).
Expérience du 1^{er} juin 1914.

1° Le point moteur est la projection, à la surface de la peau, du point d'épanouissement des nerfs à l'intérieur des muscles. On trouve

le plus souvent un point moteur général pour tout le muscle et, souvent, un ou plusieurs points moteurs accessoires qui correspondent à l'épanouissement de branches nerveuses intra-musculaires de 2^e ou de 3^e ordre. A l'état normal il semble bien que, dans toutes les conditions techniques, c'est toujours l'excitation des zones d'épanouissement des nerfs à l'intérieur des muscles que l'on produit.

2° En méthode monopolaire chez l'Homme, on démontre facilement qu'il n'y a que des excitations de fermeture cathodiques et des excitations d'ouverture anodiques.

3° La mesure de la chronaxie à travers les téguments, avec les techniques que j'ai indiquées, est aussi sûre que sur les nerfs dénudés. Pour l'usage ordinaire, les condensateurs sont bien l'instrument de choix.

4° Il n'y a aucune différence, au point de vue électrophysiologique, entre les résultats des expériences sur l'Homme et sur les animaux, en particulier sur les animaux homéothermes.

Il est donc maintenant amplement démontré que la mesure de la chronaxie à travers les téguments est aussi précise que sur les nerfs nus, à condition d'observer minutieusement toutes les précautions que j'ai indiquées et d'employer le montage que je conseille.

Toute tentative pour diminuer les résistances additionnelles ou pour supprimer le shunt, dans le but de pouvoir diminuer le voltage de la source, est vouée à l'échec pour les multiples raisons que j'ai données.

La comparaison des expériences sur l'Homme et sur le Chien montre que tout ce que l'on observe chez l'un est applicable à l'autre et à tous les mammifères.

Il n'était pas sans intérêt de montrer la concordance parfaite de l'excitation sur le sujet entier avec la méthode monopolaire, et de l'excitation sur le nerf dénudé et isolé électriquement avec la méthode bipolaire.

S'il était admis qu'on pouvait conclure de l'animal à l'Homme, on était généralement plus réservé dans les conclusions en sens inverse en raison des conditions moins précises, au moins en apparence, qu'on peut réaliser sur l'Homme. Mes expériences démontrent qu'on arrive à la même précision dans les deux cas.

Nous pouvons donc, en électrophysiologie, tirer des expériences sur l'Homme des conclusions de valeur générale; nous pouvons compléter, par des expériences sur l'animal, l'étude des problèmes soulevés par l'étude de l'Homme sain ou malade et ainsi nos recherches physiologiques et pathologiques sur l'Homme serviront à l'étude de la physiologie générale.

C'est en toute tranquillité d'esprit que nous pouvons maintenant, après cette critique expérimentale, passer à l'exposé des résultats que m'a donnés, en physiologie du système nerveux et musculaire, l'étude de la chronaxie chez l'Homme.

DEUXIÈME PARTIE

LA CHRONAXIE NORMALE DE L'HOMME

DEUXIÈME PARTIE

LA CHRONAXIE NORMALE DE L'HOMME

CHAPITRE I

APPROXIMATION DES MESURES DE CHRONAXIE A TRAVERS LES TÉGUMENTS

I

POINTS MOTEURS MUSCULAIRES

Lorsque je faisais les recherches qui avaient pour objectif d'établir une technique de mesure de la chronaxie chez l'Homme, j'expérimentais toujours sur le même muscle. Ignorant, en effet, si les différents muscles de l'Homme avaient tous la même chronaxie ou des chronaxies différentes, il fallait prendre le même muscle chez tous les sujets d'étude pour savoir si la technique employée était bonne ou mauvaise.

Pour faire ces premières expériences, j'ai choisi le biceps, parce que c'est un muscle facilement accessible, volumineux, et qu'il est facile de ne pas confondre ses contractions avec celles des muscles voisins dont il est nettement séparé.

C'est sur ce muscle que je me suis convaincu que le montage en série ne donnait aucun résultat, alors que le montage en dérivation donnait des résultats très voisins les uns des autres sur différents sujets normaux.

Une fois la technique bien établie, j'ai pris des mesures sur d'autres muscles et, immédiatement, j'ai vu des différences systématiques très importantes entre différents muscles étudiés chez un même sujet.

Cette observation montrait que le problème de la chronaxie de

L'Homme n'était pas résolu par le fait d'avoir établi une technique de mesure de la chronaxie à travers les téguments.

Il devenait nécessaire d'étudier toute la musculature de l'Homme, non seulement pour avoir des étalons de comparaison pour l'étude des états pathologiques, mais encore pour savoir si ces différences systématiques révélaient, ou non, des lois physiologiques plus ou moins importantes.

C'est cette étude que j'ai pu faire grâce à la technique dont j'ai étudié minutieusement toutes les conditions. Nous avons vu le degré de précision de la méthode; cependant, une question préalable se pose : quelles sont les limites de la variation des mesures de chronaxie d'un nerf ou d'un muscle d'un sujet à l'autre et sur le même sujet? En d'autres termes, il faut d'abord établir l'approximation de la mesure d'une chronaxie chez un même sujet et voir ensuite, si, d'un sujet à un autre, les écarts dépassent ou ne dépassent pas l'approximation de la mesure. Il faut savoir si la mesure de la chronaxie de l'Homme décèle, ou non, des variations individuelles pour un même muscle; s'il y a des variations individuelles il faut s'assurer si elles ont, ou non, l'amplitude des variations d'un muscle à l'autre chez un même sujet.

L'expérience m'a montré que les écarts dans les mesures de chronaxie d'un même muscle ne dépassent pas les limites de l'approximation de la mesure. Jusqu'à présent, je n'ai pas réussi à mettre en évidence de variations individuelles certaines. Quelquefois, on trouve exceptionnellement, chez certains sujets, une chronaxie très légèrement supérieure ou très légèrement inférieure aux limites supérieures et inférieures des écarts d'expérience. Mais les différences sont si faibles qu'on ne peut en tenir aucun compte.

Au contraire, d'un muscle à l'autre, il n'y a pas de chevauchement des mesures de chronaxie les unes sur les autres.

J'avais d'abord pensé établir les chronaxies motrices normales de l'Homme en faisant des moyennes.

Je me suis bien vite aperçu que c'était inutile et qu'il était beaucoup plus commode de caractériser la chronaxie d'un nerf ou d'un muscle, non par un chiffre moyen, mais par deux chiffres entre lesquels la chronaxie du nerf ou du muscle considéré est toujours comprise chez tous les sujets normaux : ce que j'avance est appuyé maintenant sur des centaines de mesures pour chacun des muscles que j'ai étudiés. Je puis donc affirmer que, sauf exceptions rarissimes, la chronaxie normale est toujours comprise dans ces limites.

Les limites ainsi établies sont sensiblement les mêmes que les limites établies par une série de mesures sur un même muscle d'un même sujet. Sur le même sujet d'autre part, je n'ai pas observé de différences d'un côté à l'autre.

Quelques exemples feront bien saisir ma pensée et feront bien

comprendre comment j'ai établi la valeur de la chronaxie normale des différents muscles de l'Homme¹.

Je pourrais donner des expériences de ce genre sur les principaux muscles de l'Homme; deux exemples suffiront à ma démonstration.

1° Biceps. — Point moteur. — Méthode monopolaire. — Électrode différenciée n° 1.

SUJET ET DATE DE L'EXPÉRIENCE	RHÉOBASE EN VOLTS	CHRONAXIE		MOYENNE	ÉCART
		$C\tau$	τ .		
		m.	σ .		
1 ^{er} suj. M. C. Côté droit					
6 avril 1917 { 1 ^{re} mesure	52	0,03	0,12	0 σ ,097	23 %
2 ^e —	35	0,018	0,072		
3 ^e —	27	0,02	0,08		
4 ^e —	38	0,03	0,12		
7 avril 1917 { 1 ^{re} —	49	0,018	0,072		
2 ^e —	38	0,03	0,12		
2 ^e suj. M. M. Côté droit					
7 avril 1917 { 1 ^{re} mesure	25	0,028	0,11	0 σ ,127	13 %
2 ^e —	24	0,03	0,12		
3 ^e —	22	0,035	0,14		
4 ^e —	22	0,035	0,14		
3 ^e suj. M. G. Côté gauche					
28 oct. 1916 { 1 ^{re} mesure	32	0,03	0,12	0 σ ,14	14 %
2 ^e —	46	0,04	0,16		
4 ^e suj. M. B. Côté gauche					
27 oct. 1916 { 1 ^{re} mesure	24	0,03	0,12	0 σ ,12	10 %
2 ^e —	38	0,03	0,12		
5 ^e suj. M ^{me} G. Côté gauche					
10 mars 1920 {	26	0,03	0,12	0 σ ,11	9 %
19 mars 1920 {	58	0,025	0,10		
6 ^e sujet. M ^{me} D.					
13 mars 1920 { Côt. gauche	70	0,02	0,08	0 σ ,09	11 %
18 mars 1920 { Côté droit	51	0,025	0,10		

1. Dans cette deuxième partie, je ne décrirai pas la technique à propos de chaque expérience, sauf lorsque j'aurai fait une modification à la technique que j'ai décrite.

Avec les condensateurs, le montage est toujours celui que j'ai décrit; seule la résistance en série avec le sujet est tantôt 6000 ω et tantôt 11 000 ω . Je ne donnerai donc d'indication que lorsque la résistance en série sera de 6000 ω . Quand je n'indiquerai rien, elle sera de 11 000 ω .

Pour le rhéotome balistique de Weiss, j'indiquerai toujours le montage, puisque j'emploie tantôt le montage en série et tantôt le montage en dérivation, ce qui ne change rien aux résultats d'ailleurs, comme je l'ai démontré dans la première partie de ce travail. En méthode monopolaire, la grande électrode est sur le sternum. Je n'indique que la taille de la petite électrode que je désigne par le numéro correspondant aux électrodes représentées sur la figure 11. — N° 1. Tampon le plus grand. N° 2. Tampon le plus petit. — N° 3. Électrode de d'Arsonval-Lapicque.

De même, toutes les mesures, sauf indications contraires, sont faites avec la petite électrode négative.

En étudiant le tableau ci-dessus on voit que, pour un même sujet, l'écart entre la moyenne des mesures sur ce sujet et les valeurs extrêmes a varié de 10 pour 100 à 23 pour 100. C'est une très satisfaisante approximation. Les écarts observés sur le sujet où le nombre de mesures est le plus grand sont sensiblement les mêmes que pour la totalité des sujets.

En effet, la moyenne de la totalité des mesures reproduites ici est de $0\sigma,11$, très voisine de la moyenne des mesures prises sur le premier sujet ($0\sigma,097$). L'écart entre les valeurs extrêmes et cette valeur moyenne est d'environ 25 pour 100 entre $0\sigma,11$ et $0\sigma,14$ et 18 pour 100 entre $0\sigma,09$ et $0\sigma,11$. Les écarts sont les mêmes entre les deux côtés d'un même sujet.

Il ressort donc nettement de cette expérience que la chronaxie du biceps ne varie pas d'un jour à l'autre sur le même sujet et que les limites de variation d'un sujet à un autre, quoique légèrement plus étendues que sur le même sujet, ne permettent pas cependant d'établir de différences individuelles.

D'après l'ensemble de mes mesures, je peux dire que la chronaxie de tous les biceps normaux est comprise entre $0\sigma,08$ et $0\sigma,16$; mais que la majorité est comprise entre $0\sigma,08$ et $1\sigma,12$ et que, de temps en temps, on en trouve un qui a une chronaxie comprise entre $0\sigma,12$ et $0\sigma,16$; et, tout à fait exceptionnellement, une chronaxie très légèrement inférieure à $0\sigma,08$ sans jamais descendre à $0\sigma,07$.

Je dirai donc que la chronaxie normale du biceps de l'homme est de $0\sigma,08$ à $0\sigma,16$. On ne peut admettre de variations anormales qu'en dehors de ces limites.

2° Extenseurs. — Sur ces muscles j'ai fait trois catégories d'expériences :

1° J'ai mesuré la chronaxie de l'extenseur commun des doigts sur différents sujets. Le plus souvent, j'ai fait plusieurs mesures sur le même sujet.

2° Au cours d'expériences, en collaboration avec H. Laugier¹, j'ai comparé la chronaxie de l'extenseur propre de l'index à des jours différents.

3° Sur le même sujet, j'ai mesuré la chronaxie de l'extenseur propre de l'index le même jour, environ toutes les 5 minutes pendant 45 minutes.

Les expériences ont été faites tantôt à droite, tantôt à gauche.

Dans chaque expérience, j'ai fait, pour chaque sujet, la moyenne et j'ai calculé l'écart entre la moyenne et les chiffres extrêmes.

Les résultats de quelques-unes de ces expériences sont réunis dans les tableaux suivants :

Méthode monopolaire. Points moteurs. Électrode différenciées n° 1.

1. G. BOURGUIGNON et H. LAUGIER. *C. R. Soc. de Biologie*, t. LXXXVIII, p. 269, 5 février 1923.

I. Extenseur commun des doigts (faisceaux 3^e et 4^e doigts).

SUJET ET DATE DE L'EXPÉRIENCE	RHÉOBASE		CHRONAXIE		MOYENNE	ÉCART
	VOLT.	INTENS.	Cτ	τ.		
7 ^e sujet. — M. L. Côté gauche		mA.	mf.	σ.		
9 février 1920 { 1 ^{re} mesure. . .	85	2,9	0,12	0,48	0 σ,50	4 %
{ 2 ^e — . . .	89	3,2	0,13	0,52		
13 février 1920 {	94	3	0,13	0,52		
8 ^e sujet. — M. T. Côté gauche						
8 mai 1922 { 1 ^{re} mesure. . .	53	2,3	0,14	0,56	0 σ,57	22 %
{ 2 ^e — . . .	48	2	0,15	0,60		
{ 3 ^e — . . .	54	2,3	0,17	0,68		
3 juillet 1922 { 1 ^{re} — . . .	68	3,6	0,15	0,60		
{ 2 ^e — . . .	58	2,6	0,13	0,52		
{ 3 ^e — . . .	50	2,5	0,14	0,56		
15 mars 1922 { Côté droit. . .	45	1,8	0,16	0,64		
9 ^e sujet. — M. P. 16 octobre 1917						
Côté droit.	51	"	0,12	0,48	0 σ,50	4 %
Côté gauche. { 1 ^{re} mesure. . .	47	"	0,13	0,52		
{ 2 ^e — . . .	45,5	"	0,13	0,52		

II. Extenseur propre de l'index. — M. L... (7^e sujet).

SUJET ET DATE DE L'EXPÉRIENCE	RHÉOBASE		CHRONAXIE		MOYENNE	ÉCART
	VOLT.	INTENS.	Cτ.	τ.		
		mA.	mf.	σ		
24 mars 1920 { 1 ^{re} mesure. . .	72	2,7	0,17	0,68	0 σ,53	20 % envir.
{ 2 ^e — . . .	73	2,8	0,14	0,56		
Côté gauche. { 3 ^e — . . .	69	2,7	0,15	0,60		
24 juin 1921 { 1 ^{re} mesure. . .	49	2,2	0,12	0,48		
{ 2 ^e — . . .	30	2,1	0,13	0,52		
Côté droit. { 3 ^e — . . .	30	2,1	0,12	0,48		
17 mars 1922 { 1 ^{re} mesure. . .	60	2,7	0,14	0,56		
Côté gauche. { 2 ^e — . . .	60	2,7	0,13	0,52		

III. Extenseur propre de l'index. — M. L... (7^e sujet).

Expérience du 11 juillet 1921.

HEURES	RHÉOBASE				CHRONAXIE		MOYENNE	ÉCART
	1 ^{re} MESURE		VÉRIFICATION		C _τ	τ		
	VOLT.	INTENS.	VOLT.	INTENS.				
		mA.		mA.	mf.	σ		
10 h. 46'	49	2,3	51	2,5	0,16	0,64	0 σ,63	11 % 14 %
10 h. 56'	50	2,35	50	2,4	0,18	0,72		
11 h. 4'	43	1,9	"	"	0,14	0,56		
11 h. 15'	50	2,4	"	"	0,16	0,64		
11 h. 24'	48	2,2	46	2,2	0,15	0,60		
11 h. 30'	45	2,1	44	2,1	0,16	0,64		

Ainsi, sur l'extenseur commun; la chronaxie a été comprise entre 0 σ ,48 et 0 σ ,56 sur le sujet n° 7; entre 0 σ ,44 et 0 σ ,68 sur le sujet n° 8; et entre 0 σ ,48 et 0 σ ,52 sur le sujet n° 9.

La valeur moyenne de la chronaxie a été de 0 σ ,50 sur le 7^e et le 9^e sujet et 0 σ ,57 sur le 8^e sujet. L'écart entre la valeur moyenne et les valeurs extrêmes a été de 22 pour 100 pour le sujet sur lequel il a été pris le plus de mesures (8 mesures). Quand on prend sur un même sujet un nombre de mesures plus restreint, l'écart devient naturellement beaucoup plus petit. Il est à remarquer que l'écart est sensiblement le même pour l'extenseur commun que pour le biceps.

Si nous considérons la valeur moyenne de la chronaxie sur la totalité des mesures sur tous les sujets, nous la trouvons de 0 σ ,55. L'écart le plus grand entre cette valeur moyenne et les valeurs extrêmes (0 σ ,44 et 0 σ ,68) est de 20 pour 100 pour la plus petite (0 σ ,44) et de 24 pour 100 pour la plus grande (0 σ ,68) chronaxie.

L'écart est donc le même pour la totalité des mesures que pour les mesures prises sur un même sujet, lorsque le nombre des expériences est suffisant.

L'étude de l'extenseur propre de l'index met ce fait en évidence, d'une manière particulièrement nette, à cause du grand nombre de mesures prises.

Sur ce muscle, en considérant la totalité des expériences, dans 15 mesures, réparties entre des jours différents, la chronaxie a été comprise entre 0 σ ,44 et 0 σ ,72.

La moyenne faite sur la totalité des 15 mesures est de 0 σ ,57, très peu différente de la moyenne de la totalité des expériences sur l'extenseur commun (0 σ ,55). L'écart entre les valeurs extrêmes et cette valeur moyenne est de 22 pour 100 pour la plus petite chronaxie (0 σ ,44) et de 26 pour 100 pour la plus grande (0 σ ,72).

Si on laisse de côté les deux mesures qui n'ont été trouvées qu'une fois (0 σ ,44 et 0 σ ,72) les valeurs extrêmes sont 0 σ ,48 et 0 σ ,68. Sur les 13 mesures ainsi obtenues, la moyenne est encore de 0 σ ,57 et l'écart entre les valeurs extrêmes et cette valeur moyenne n'est plus que de 15 à 19 pour 100, par défaut ou par excès.

Considérons maintenant les mesures faites le même jour sur le même muscle. Dans l'expérience du 11 juillet 1922, la moyenne des six mesures prises est de 0 σ ,63 avec des valeurs extrêmes de 0 σ ,56 et de 0 σ ,72. L'écart entre ces valeurs extrêmes et la moyenne est de 11 pour 100 pour la plus petite chronaxie (0 σ ,56) et de 14 pour 100 pour la plus grande (0 σ ,72).

Dans l'expérience du 24 juin 1921, sur 4 mesures, la moyenne a été de 0 σ ,48, avec des valeurs extrêmes de 0 σ ,44 et 0 σ ,52. L'écart entre la moyenne et ces valeurs extrêmes est de 8 pour 100 pour les deux.

Les écarts entre les mesures d'un même jour sont plus faibles qu'entre la totalité des mesures, et la valeur moyenne est un peu

différente. Mais, dans ces conditions, le nombre des mesures n'est pas suffisant pour conclure d'une manière certaine à des différences journalières. Il n'est pas sûr qu'il y en ait; elles seraient, en tout cas, très faibles et ne doivent pas entrer en ligne de compte.

Cette question ne pourrait être jugée qu'en faisant le même jour au moins une vingtaine de mesures et en répétant la même expérience à des jours différents. Il ne m'a pas paru, jusqu'à présent, que l'indication de différences d'un jour à l'autre sur le même sujet soit suffisante pour justifier cette expérimentation assez longue.

En résumé, les écarts entre les différentes mesures prises sur un même muscle sont les mêmes pour un même sujet que pour l'ensemble d'un certain nombre de sujets, lorsqu'on a pris, sur le même sujet, un nombre de mesures suffisant. L'approximation est d'environ 20 à 25 pour 100 par rapport à la moyenne d'un grand nombre d'expériences.

La chronaxie ne présente donc pas de variations individuelles appréciables pour un muscle donné, ni d'un côté à l'autre, ou d'un jour à l'autre, pour le même muscle chez un même sujet.

Toutes les mesures prises jusqu'ici, et cela sur des centaines de sujets, pour un muscle donné, sont toujours comprises entre les valeurs extrêmes qu'on trouve en faisant seulement une vingtaine de mesures.

C'est pourquoi, comme je l'ai dit déjà, je ne fais plus de moyennes, mais je caractérise les différents muscles par les valeurs extrêmes entre lesquelles toutes les chronaxies prises viennent se ranger.

En comparant maintenant l'extenseur commun des doigts et l'extenseur propre de l'index, nous voyons que la valeur moyenne pour la totalité des mesures étudiées ici pour chacun de ces muscles est la même (0,55 pour l'un, 0,57 pour l'autre) et que les valeurs extrêmes sont les mêmes.

Ces deux muscles ont donc la même chronaxie.

Au contraire, la chronaxie du biceps est très différente et beaucoup plus petite; le rapport entre la chronaxie du biceps et celle des extenseurs est de 1 à 5.

Ces expériences établissent donc qu'il y a bien des différences systématiques entre les différents muscles excités au point moteur.

II

NERFS

Comparaison de la chronaxie des nerfs et des points moteurs.

Pour étudier les nerfs, il faut nécessairement spécifier quel muscle a servi de témoin de l'excitation du nerf. En parlant de la chronaxie d'un nerf, on parle de quelque chose qui n'existe pas. Un nerf est

composé de fibres indépendantes les unes des autres, groupées suivant les muscles auxquels elles sont destinées : elles *peuvent donc ne pas avoir toutes la même chronaxie*. Il ne faut pas dire « la chronaxie du nerf radial », par exemple, mais « la chronaxie des fibres innervant le long supinateur, par exemple, ou des fibres innervant le faisceau du 3^e doigt de l'extenseur commun, etc... etc... »

J'ai donc refait, sur les nerfs, les mêmes expériences que sur les points moteurs, en comparant pour un même muscle la chronaxie mesurée sur le nerf et la chronaxie mesurée sur le muscle. Les résultats de cette étude sont très simples :

1^o On constate, avec la plus grande facilité, que les limites de la variation de la chronaxie sur les nerfs sont les mêmes que sur les points moteurs des muscles correspondants. L'approximation des mesures est la même.

Il faut seulement faire attention que l'excitabilité des nerfs est plus difficile à mesurer que celle des points moteurs. Le nerf présente une surface moindre et se déplace souvent très facilement. Il faut donc prendre de minutieuses précautions pour que la situation relative de l'électrode et du nerf ne change pas pendant l'expérience. On ne doit jamais se contenter d'une seule mesure, mais c'est encore plus indispensable pour les nerfs que pour les points moteurs. Le choix de la dimension de l'électrode est aussi très important. Il vaut mieux, en général, se servir d'une petite électrode (nos 2 et 3) pour les nerfs que de la plus grande électrode (n^o 1). Cette question du choix de l'électrode est très délicate et on ne peut guère donner de règles générales. Quand j'étudierai la chronaxie propre à chaque muscle ou groupe de muscles, je montrerai quelle importance ce choix présente dans certains cas.

L'utilité d'un bon point d'appui pour le sujet et pour l'opérateur apparaît clairement dès qu'on cherche à mesurer la chronaxie sur le trajet d'un nerf. Je ne saurais trop insister sur le fait que les conditions matérielles de technique que j'ai exposée sont la condition *sine qua non* des bonnes expériences sur l'Homme.

2^o La chronaxie mesurée sur le trajet du nerf et au point moteur du muscle correspondant est toujours sensiblement la même. Il est impossible de dire s'il y a une petite différence. Tantôt on trouve, pour un même muscle, chez le même sujet, la chronaxie un peu plus grande sur le point moteur du muscle que sur le nerf et tantôt l'inverse. Les valeurs extrêmes, dans les différentes mesures, sont si rigoureusement les mêmes sur le nerf et sur le point moteur du muscle correspondant, qu'il serait fastidieux et inutile de refaire pour la chronaxie du nerf, l'étude détaillée que j'ai faite pour la chronaxie du point moteur.

Un ou deux exemples de comparaison de la chronaxie d'un muscle sur le point moteur et sur le nerf suffisent à établir ce que j'avance.

I. Extenseur propre de l'index.

DATE ET SIÈGE DE L'EXCITATION		RHÉOBASE				CHRONAXIE	
		PREMIÈRE MESURE		VÉRIFICATION		Cτ	τ
		VOLT.	INTENS.	VOLT.	INTENS.		
		mA.		mA.		mf.	σ
a. — M. L... <i>Séries de mesures le même jour pour le même muscle.</i>							
11 juillet 1921							
1 ^{re} mesure	{ Point moteur. . .	49	2,3	51	2,5	0,16	0,64
	{ Nerf	43	1,8	42	1,85	0,12	0,48
2 ^e mesure	{ Point moteur. . .	50	2,35	"	"	0,18	0,72
	{ Nerf	48	2,4	47	2,2	0,13	0,52
3 ^e mesure	{ Point moteur. . .	43	1,9	"	"	0,14	0,56
	{ Nerf	55	2,6	55	2,7	0,15	0,60
4 ^e mesure	{ Point moteur. . .	50	2,4	"	"	0,16	0,64
	{ Nerf	55	2,7	53	2,6	0,14	0,56
5 ^e mesure	{ Point moteur. . .	48	2,2	46	2,2	0,15	0,60
	{ Nerf	52	2,4	"	"	0,13	0,52
6 ^e mesure	{ Point moteur. . .	45	2,1	44	2,1	0,16	0,64
	{ Nerf	52	2,45	48	2,5	0,14	0,56
b. — <i>Même sujet. Même muscle à des jours différents.</i>							
13 mars 1920							
gauche. . .	{ Point moteur. . .	49	2,4	"	"	0,14	0,56
	{ Nerf.	45	2,2	"	"	0,17	0,68
24 mars 1920							
gauche. . .	{ Point moteur. . .	69	2,7	"	"	0,15	0,60
	{ Nerf.	60	2,1	"	"	0,17	0,68
24 juin 1921							
droit . . .	{ Point moteur. . .	49	2,2	50	2,3	0,12	0,48
	{ Nerf.	37	1,5	39	1,55	0,14	0,56
24 mars 1922							
gauche. . .	{ Nerf.	60	2,5	58	2,4	0,18	0,72
c. — M. T. <i>Même muscle.</i>							
13 mars 1922							
droit . . .	{ Point moteur. . .	48	1,95	46	1,9	0,13	0,52
	{ Nerf { 1 ^{re} mesure.	40	1,7	38	1,55	0,18	0,72
	{ 2 ^e —	37	1,5	35	1,45	0,16	0,64

II. Long supinateur.

DATES DES EXPÉRIENCES	RHÉOBASE				CHRONAXIE	
	PREMIÈRE MESURE		VÉRIFICATION			
	VOLT.	INTENS.	VOLT.	INTENS.	Cτ	τ
M. G. — 18 avril 1916						
droit . . .	Point moteur . .	28	"	"	0,03	0,12
	Nerf	62	"	"	0,04	0,16
M. Par... — 30 août 1916						
droit . . .	Point moteur . .	43	"	"	0,04	0,16
	Nerf	30	"	"	0,04	0,16
M. V. — 9 septembre 1916						
droit . . .	Point moteur . .	58	"	"	0,03	0,12
	Nerf	71	"	"	0,035	0,14

L'examen de ces tableaux se passe de tout commentaire.

On y voit que, pour un même muscle, la chronaxie a été tantôt plus grande et tantôt plus petite sur le nerf que sur le point moteur et comprise entre les mêmes limites. Le nerf radial a deux chronaxies différentes suivant qu'on prend les filets du long supinateur ou ceux d'un extenseur; c'est un bon exemple de ce que je disais qu'il n'y a pas de chronaxie d'un nerf mais la chronaxie de ses fibres.

Je pourrais donner des exemples pour *tous les nerfs* accessibles à l'exploration : j'ai trouvé toujours des résultats identiques.

On peut les résumer d'un mot :

La chronaxie d'un muscle est la même quand on la mesure au point moteur et sur le nerf.

III

EXCITATION LONGITUDINALE

En est-il de même dans l'excitation longitudinale? Là, la question est beaucoup plus complexe. Etant donné ce que j'ai dit des conditions de l'excitation longitudinale à l'état normal, on ne sera pas surpris des difficultés qu'on rencontre, dans certains cas, à mesurer la chronaxie dans ces conditions.

Il faut distinguer, au point de vue de l'excitation longitudinale, les gros muscles et les petits.

Sur les gros muscles, comme le biceps, à l'état normal, on obtient très difficilement la mesure de la chronaxie par l'excitation longitudinale. La diffusion différente du courant avec les ondes longues et avec les ondes brèves, qui détermine une différence dans la surface du point moteur, surtout sur les gros muscles, entraîne à peu près l'impossibilité de connaître la chronaxie par excitation longitudinale. De fait, je ne suis pas arrivé à trouver deux fois la même chronaxie dans ces conditions sur le biceps; elle oscille entre la chronaxie égale à celle du point moteur et une chronaxie 10 fois plus grande, avec toutes les valeurs intermédiaires possibles : c'est dire que je n'ai pas réussi à mesurer la chronaxie par excitation longitudinale des gros muscles.

D'expériences récentes, mais encore trop peu nombreuses pour que je puisse les exposer dès maintenant, il semble résulter que l'on arrive à de meilleurs résultats en transportant la petite électrode aussi loin que possible du muscle, par exemple sur la face antérieure du poignet pour prendre la chronaxie par excitation longitudinale du biceps.

Si cette expérience se confirmait, elle prouverait le bien fondé de mon hypothèse. En mettant l'électrode aussi loin que possible du muscle, on supprime évidemment les différences dans la manière dont diffusent les ondes longues et les ondes brèves.

Sur les petits muscles, minces et longs, au contraire, comme les fléchisseurs ou les extenseurs à l'avant-bras, on trouve la même chronaxie par excitation longitudinale qu'au point moteur et sur le nerf.

En voici quelques exemples pris sur un muscle de grande chronaxie et sur un muscle de petite chronaxie :

SUJETS ET DATES		RHÉOBASE				CHRONAXIE	
		1 ^{re} MESURE		VÉRIFICATION		Cτ	τ
		VOLTAGE	INTENSITÉ	VOLTAGE	INTENSITÉ		
			mA.			mf.	
I. — <i>Extenseur propre de l'index.</i>							
M. L. — 13 mars 1920.							
gauche	Point moteur . .	49	2mA,4	"	"	0mf,44	0 σ,56
	Nerf	45	2,3	"	"	0,17	0 σ,68
	Excitation longitudinale	70	3,2	"	"	0,18	0 σ,72
24 mars 1920.							
gauche	Point moteur . .	72	2,9	73	2,8	0,17	0 σ,68
	Nerf	60	2,1	"	"	0,17	0 σ,68
	Excitation longitudinale	69	2,6	"	"	0,16	0 σ,64
M. T. — 13 mars 1922.							
droit	Point moteur . .	48	1,95	46	1,9	0,13	0 σ,52
	Nerf	37	1,5	35	1,45	0,16	0 σ,64
	Excitation longitud. 1 ^{re} mesure.	82	3,55	"	"	0,12	0 σ,48
	2 ^e mesure.	72	3,1	71	3,05	0,13	0 σ,52
II. — <i>Long supinateur.</i>							
M. P. — 30 août 1916.							
droit	Point moteur . .	43	"	"	"	0,04	0 σ,16
	Nerf	30	"	"	"	0,04	0 σ,16
	Excitation longitudinale	61	"	"	"	0,04	0 σ,16

Le fait de l'égalité de la chronaxie par excitation longitudinale et de la chronaxie du nerf et du point moteur est donc établi nettement dans ces expériences. On le constate pour tous les muscles de l'avant-bras et de la main aux membres supérieurs, et du pied et de la jambe aux membres inférieurs. Sur les gros muscles du bras et de la cuisse, par contre, on rencontre les difficultés que j'ai dites.

Dans mes premières publications, j'avais tiré de ce fait la conclusion qu'ils étaient *d'accord* avec la loi de l'isochronisme du nerf moteur et du muscle, de L. Lapicque, sans préciser davantage.

En réalité, après l'étude que j'ai faite des conditions de l'excitation et du rôle des points d'épanouissement des nerfs dans l'excitation des

muscles à leur surface, il est fort douteux que l'excitation longitudinale sur le sujet normal produise autre chose que l'excitation des nerfs. Dès lors, l'égalité de la chronaxie constatée s'explique par le fait que c'est toujours la chronaxie du nerf qu'on mesure, même sur le muscle.

À l'état pathologique, au contraire, on voit apparaître d'importants hétérochronismes et on peut alors séparer l'excitation nerveuse et l'excitation musculaire, comme nous le verrons plus tard.

Retenons donc de cette étude que la chronaxie, pour un muscle donné, est la même sur le nerf, sur le point moteur et par excitation longitudinale; qu'il est certain que c'est la chronaxie nerveuse qu'on mesure sur le nerf et sur le point moteur, et qu'il est très probable qu'il en est de même dans l'excitation longitudinale, lorsque la mesure est possible. Nous verrons, plus tard, à propos d'autres expériences auxquelles j'ai déjà fait allusion que ce problème pourra être serré d'un peu plus près.

Ces considérations montrent qu'on ne peut pas actuellement étudier séparément, en physiologie normale, la chronaxie des nerfs et la chronaxie des muscles. Le nerf et le muscle forment un tout physiologique, aussi bien au point de vue trophique, comme on le sait depuis longtemps, qu'au point de vue de la valeur fonctionnelle. Mais, comme la fonction est caractérisée par le mouvement que produit chaque muscle, c'est par rapport aux muscles qu'il faut étudier la physiologie de l'excitabilité du système nerf-muscle. Les nerfs moteurs et les muscles obéissent donc aux mêmes lois en ce qui concerne la chronaxie à l'état normal.

Dans ce qui va suivre, je parlerai surtout de « muscles »; il restera toujours sous-entendu, si je ne l'explicite pas, que cela veut dire « muscles et nerfs moteurs ».

1. G. BOURGUIGNON. *C. R. Acad. des Sciences*, 17 juillet 1916, t. 163, page 68. *Soc. de Biologie*, t. LXXIX, 1^{er} juillet 1916. *Revue neurologique*, juillet 1917.

CHAPITRE II

CHRONAXIE NORMALE DES MUSCLES ET NERFS MOTEURS ET DES NERFS SENSITIFS DU MEMBRE SUPÉRIEUR LEUR CLASSIFICATION FONCTIONNELLE PAR LA CHRONAXIE

Aussitôt faite l'observation de grandes différences de chronaxie entre le Biceps et les Extenseurs au membre supérieur, j'entrepris de déterminer soigneusement la chronaxie normale de tous ou presque tous les muscles striés du corps humain, accessibles à l'exploration à travers les téguments.

Je commençai mes investigations par les muscles du membre supérieur et je mis en évidence des lois physiologiques très précises concernant la répartition de la chronaxie.

Ensuite, j'étendis mes recherches aux membres inférieurs, puis à la face; enfin, au cou et au tronc. Et j'eus la satisfaction de retrouver partout les lois générales que j'avais établies sur le membre supérieur.

Entre temps, je cherchais une technique de mesure de la chronaxie des nerfs sensitifs et de leurs terminaisons cutanées. Nous avons vu que j'ai mis au point une technique de mesure de la chronaxie des troncs nerveux sensitifs, mais que je n'ai pas encore réussi à mesurer la chronaxie des organes terminaux de la sensibilité dans la peau : je ne m'en occuperai donc pas.

Pour les troncs nerveux sensitifs, je n'ai étudié jusqu'à présent complètement que ceux du membre supérieur; mais quelques recherches, sur la face et le membre inférieur, montrent que les lois qui découlent de l'étude des nerfs sensitifs du membre supérieur sont aussi générales que celles qui résultent de l'étude des nerfs moteurs et des muscles des membres supérieurs. L'expérience, d'autre part, a montré de tels liens entre la chronaxie des nerfs moteurs et des nerfs sensitifs d'une même région qu'il y a tout intérêt à faire ensemble l'étude complète de tous les nerfs, moteurs ou sensitifs des membres supérieurs. C'est ce que je vais faire dans ce chapitre. Dans le chapitre suivant, je n'aurai plus qu'à passer en revue tout le reste de la musculature du corps, pour montrer que les conclu-

sions qu'on tire de l'étude du membre supérieur s'appliquent également à toutes les régions du corps. Enfin, j'exposerai, à propos de la face, les coupures de la chronaxie du système optique, premier système sensoriel que j'ai abordé.

I

MUSCLES ET NERFS MOTEURS

La loi fondamentale qui découle de l'étude des nerfs moteurs et des muscles du membre supérieur, et qui s'applique à toutes les régions du corps, peut s'exprimer de la manière suivante :

Tous les muscles synergiques d'un même mouvement forment un groupe homogène caractérisé par la même chronaxie.

Je ne puis pas employer d'autre expression que « la même chronaxie » pour les deux raisons suivantes :

1° Les valeurs extrêmes, dans un grand nombre de mesures sur différents sujets, sont exactement les mêmes, au degré de précision des mesures, pour tous les muscles du groupe ;

2° Les valeurs moyennes de la chronaxie de chaque muscle du groupe sont si voisines les unes des autres qu'il n'y a pas lieu de les considérer comme différentes.

Ainsi, avec des valeurs extrêmes égales, la valeur moyenne des différents extenseurs est comprise entre $0\sigma, 55$ et $0\sigma, 57$, celle des différents fléchisseurs à l'avant-bras est comprise entre $0\sigma, 24$ et $0\sigma, 29$, et encore, plus le nombre des mesures augmente, plus les moyennes des différents muscles d'un groupe se rapprochent les unes des autres. Si on ne fait pas la moyenne mais si, comme je le préfère, on considère la chronaxie la plus grande et la plus petite rencontrées sur des centaines de sujets, alors il n'y a plus aucune différence d'un muscle à l'autre.

Ainsi, tous les biceps, tous les deltoïdes et tous les longs supinateurs ont une chronaxie comprise entre $0\sigma, 08$ et $0\sigma, 16$; tous les muscles innervés par le médian et le cubital ont leurs chronaxies comprises entre $0\sigma, 20$ et $0\sigma, 56$ et ainsi pour tous les groupes dans l'étude desquels nous allons entrer en détail.

A. — Groupement par la chronaxie

Considérons d'abord les muscles du membre supérieur lui-même, c'est-à-dire les muscles du bras, de l'avant-bras et de la main en laissant de côté la ceinture scapulaire, dont l'étude trouve sa place à côté des muscles du tronc.

Au bras, à l'avant-bras et à la main, on trouve d'une part trois groupes très homogènes et de chronaxies très nettement distinctes les unes des autres; et d'autre part trois muscles, le biceps et les radiaux, de classification plus difficile.

1^o Groupes homogènes. — a) *Premier groupe.* — Ce groupe est constitué par le biceps, le brachial antérieur et le long supinateur, auxquels se joint le deltoïde (les 3 portions) qu'on peut considérer comme appartenant à la fois au bras et à la ceinture scapulaire.

La chronaxie de ces quatre muscles a pour valeurs extrêmes $0\sigma, 08$ et $0\sigma, 16$ sur tous les sujets. Peut-être la chronaxie du biceps et du long supinateur est-elle plus souvent voisine de $0\sigma, 08$ que de $0\sigma, 16$, alors que celle du deltoïde paraît plus souvent voisine de $0\sigma, 16$ que de $0\sigma, 08$. Mais il est impossible de le dire car, même en prenant des lots de 50 mesures ou plus, au hasard, on trouve tantôt plus de mesures dans les valeurs hautes et tantôt plus de mesures dans les valeurs basses. On retrouve, en somme, les variations de moyenne que j'ai montrées plus haut sur l'extenseur propre de l'index. Il y a donc une certaine incertitude sur la moyenne exacte. Il n'y en a aucune sur la valeur maxima et la valeur minima observées. A ce point de vue, il n'y a aucune différence entre les quatre muscles dont je parle.

Jusqu'à preuve du contraire, je considère donc qu'on ne peut établir aucune différence entre la chronaxie du biceps, du brachial antérieur, du deltoïde et du long supinateur.

La chronaxie de ces muscles est d'environ $0\sigma, 10$ comprise entre $0\sigma, 08$ et $0\sigma, 16$, comme le montre le tableau suivant :

TABLEAU I

Chronaxie des fléchisseurs du bras et de l'avant-bras.

1 ^{er} Groupe.	{	Deltoïde	}	$0\sigma, 08$
		Biceps		à
		Brachial antérieur		$0\sigma, 16$
		Long supinateur.. . . .		

b) *Deuxième groupe.* — Ce deuxième groupe est constitué par tous les muscles fléchisseurs et pronateurs innervés par les nerfs médian et cubital, à l'avant-bras et à la main. La valeur minima et la valeur maxima de la chronaxie sont $0\sigma, 20$ et $0\sigma, 36$ pour tous les muscles de ce groupe.

Le tableau suivant renferme les muscles que j'ai étudiés :

TABLEAU II

**Chronaxie des fléchisseurs et pronateurs de la main
et des doigts.**

2 ^{me} Groupe.	Nerf médian.	Avant-bras.	Grand Palmaire.	
			Petit Palmaire.	
			Rond Pronateur.	
			Fléchisseur superficiel (Faisceau de l'index, du 3 ^e et du 4 ^e doigts principalement) . . .	
			Long fléchisseur du pouce . .	
	Main. . . .		Court abducteur du pouce . .	0 σ , 20
			Court fléchisseur du pouce . .	et
			Opposant du pouce.	0 σ , 36
	Nerf cubital.	Avant-bras.	1 ^{er} et 2 ^{me} lombri-	
			Cubital antérieur.	
			Fléchisseur profond des doigts (Faisceau du 4 ^e et 5 ^e doigts)	
		Main. . . .	Adducteur du pouce	
			Adducteur du 5 ^e doigt	
			1 ^{er} , 2 ^e , 3 ^e et 4 ^e Interosseux dorsaux.	

Il faut, au point de vue pratique, diviser ces muscles en deux groupes, l'un constitué par les muscles de l'avant-bras et les interosseux, l'autre par les muscles situés à la paume de la main; non pas que la chronaxie de ce groupe ne soit très homogène, mais parce que les mesures sur les muscles situés à la paume de la main présentent quelques difficultés pratiques que je viens seulement d'élucider. De même, la mesure de la chronaxie des nerfs médian et cubital à leur passage au poignet présente des difficultés que ne présente pas la mesure faite sur leur trajet au bras et au coude.

I. — *Chronaxie des nerf médian et cubital excités au bras et au coude, et des points moteurs des muscles de leur domaine situés à l'avant-bras et à la face dorsale de la main.* — La chronaxie de chacun de ces muscles est comprise sur tous les sujets entre 0 σ , 20 et 0 σ , 36. Les valeurs de beaucoup les plus fréquemment observées sont celles de 0 σ , 28 et 0 σ , 32 (0 mf, 07 et 0 mf, 08) sur tous ces muscles. Exceptionnellement, on peut trouver un chiffre un peu plus faible que la valeur minima courante c'est-à-dire 0 σ , 16 (0 mf, 04) au lieu de 0 σ , 20 (0 mf, 05) : c'est surtout le fléchisseur profond qui présente quelquefois cette chronaxie un peu petite. Mais on trouve si souvent sur ce muscle la même chronaxie que sur le reste du groupe qu'on ne peut vraiment en tenir compte, d'autant plus que ce n'est jamais qu'au point moteur qu'on l'observe; dans l'excitation par le nerf, le fléchisseur profond ne se différencie pas du reste du domaine du médian et du cubital.

Ce groupe est donc bien homogène. On vérifie sur lui très facilement l'égalité de la chronaxie du nerf, du point moteur et de la chronaxie prise avec l'excitation longitudinale. C'est dire que la chronaxie mesurée sur le trajet du médian et du cubital, au bras et au coude, est la même que celle des muscles innervés, excités au point moteur ou longitudinalement.

II. — *Chronaxie des muscles situés à la paume de la main et des nerfs médian et cubital dans leur trajet au poignet.* — α) DIFFICULTÉS RENCONTRÉES DANS SA MESURE. — Sur la chronaxie de ces muscles et nerfs il y avait, jusqu'à ces temps derniers, une certaine incertitude.

En effet, tandis que chez certains sujets je trouvais la chronaxie de ces nerfs et muscles égale à celle que nous venons d'étudier, comprise entre $0\sigma, 20$ et $0\sigma, 36$, sur d'autres sujets, je trouvais des chronaxies très différentes et très variables d'une expérience à l'autre, sans que je puisse trouver aucune cause d'altération de l'excitabilité. En général, je trouvais une chronaxie trop grande sur les nerfs au poignet ($0\sigma, 50$ à $0\sigma, 60$) et trop petite ($0\sigma, 12$ à $0\sigma, 16$) sur les points moteurs des muscles à la paume de la main.

Cependant, il semblait bien que la vraie chronaxie était celle qui était égale à la chronaxie du reste du domaine médian et cubital ($0\sigma, 20$ à $0\sigma, 36$) et que, dans d'autres cas, il y avait une cause d'erreur qui m'échappait.

Il y avait d'autant plus de raisons de le penser que, même chez les sujets qui présentaient des chronaxies trop grandes sur les nerfs excités au poignet et trop petites sur les points moteurs musculaires de la paume de la main, je trouvais pour ces mêmes muscles, en excitant le nerf cubital ou le nerf médian au coude ou à la face interne du bras, des chronaxies régulières et égales à celle de tous les muscles innervés par le médian et le cubital à l'avant-bras et à la face dorsale de la main.

D'autre part, alors qu'on trouve toujours des chronaxies régulières et égales à celles des muscles situés à l'avant-bras, sur les points moteurs des interosseux dorsaux, on trouve, pour ces muscles, des chronaxies trop grandes sur le nerf au poignet, comme pour les muscles de la paume de la main et normales par excitation du nerf au bras ou au coude.

Les nerfs médian et cubital, en effet, longs et superficiels, en beaucoup de points de leur trajet, sont excitables à diverses hauteurs :

A la partie supérieure de la face interne du bras ;

A la partie inférieure de la face interne du bras ;

Au pli du coude ;

A la partie inférieure de l'avant-bras ;

Au poignet.

Sur le médian, au bras et au coude, en déplaçant très légèrement

l'électrode ou en modifiant légèrement son inclinaison, on arrive à exciter électivement soit les palmaires, soit les pronateurs, soit les fléchisseurs des doigts, soit les muscles de l'éminence thénar. La même chose se réalise sur le cubital et on excite à volonté, au même niveau, soit les muscles à l'avant-bras, soit les muscles innervés à la main. On arrive ainsi à étudier la chronaxie des filets nerveux destinés aux différents muscles à différentes hauteurs le long du nerf.

J'ai observé les mêmes faits avec l'une et l'autre des deux électrodes courantes (Tampons N° 1 et N° 2).

Voici quelques exemples de ces expériences :

Petit tampon (électrode N° 2) pour les nerfs et pour les muscles de la main.

Expériences. — I. On prend la chronaxie du point moteur d'un muscle de la main, puis la chronaxie du nerf au coude, en prenant successivement les seuils de la contraction du muscle de la main choisie et de différents muscles de l'avant-bras. — Électrode n° 2. — Enfin, on prend la chronaxie des points moteurs de quelques muscles de l'avant-bras.

SUJET ET DATES.	RHÉOBASE		CHRONAXIE	
	VOLTAGE	INTENSITÉ	C _r .	τ .
	volts.	mA.	mif.	
M. F. — 22 février 1922.				
Court fléchisseur du pouce (Eminence thénar) gauche.				
Point moteur	82	1,8	0,04	0 σ , 16
Nerf médian au coude	Seuils pour la main.			
	Court fléchisseur du pouce			
	90	3,5	0,09	0 σ , 36
	Seuils à l'avant-bras :			
Rond pronateur . . .	40	1,2	0,08	0 σ , 32
Grand palmaire . . .	47	1,5	0,06	0 σ , 24
Points moteurs à l'avant-bras . . .	Rond pronateur . . .			
	45	1,6	0,08	0 σ , 32
Petit palmaire . . .	79	2,6	0,07	0 σ , 28

Ainsi, la chronaxie des points moteurs des muscles innervés par le médian à l'avant-bras est la même que la chronaxie du nerf excité au coude et comprise entre 0 σ , 24 et 0 σ , 32, c'est-à-dire dans les limites ordinaires (0 σ , 20 à 0 σ , 36), qui caractérisent le 2^e groupe.

Sur le nerf, à la même hauteur, la chronaxie des filets destinés à la main est encore la même, comprise dans les mêmes limites.

Mais, sur le point moteur d'un muscle de l'éminence thénar, la chronaxie est plus petite (0 σ , 16, au lieu de 0 σ , 20 à 0 σ , 36).

II. Sur d'autres sujets, j'ai comparé la chronaxie des points mo-

teurs des muscles de la main à la paume avec la chronaxie des muscles situés à la face dorsale de la main et à l'avant-bras.

Même électrode.

SUJETS ET DATES.		RHÉOBASE		CHRONAXIE	
		VOLT.	INTENS.	Cτ.	τ.
Mlle M. — 18 décembre 1922.			mA	mf	σ
Paume de la main..	Court abducteur du	79	1,6	0,04	0,16
	pouce	69	1,3	0,04	0,16
	Adducteur du 5 ^e doigt.	73	0,55	0,03	0,12
		96	1,8	0,06	0,24
Face dorsale de la main et de l'avant-bras.	3 ^{me} interosseux dorsal droit. . . .	80	2,9	0,08	0,32
	Fléchisseur superficiel (3 ^{me} doigt				
	droit.	57	1,6	0,07	0,28
	Cubital antérieur.	50	1,4	0,09	0,36

Ainsi, à la paume de la main, la chronaxie des points moteurs est variable; tantôt elle est égale à celle des muscles de l'avant-bras (adducteur du 5^e doigt gauche, dans l'exemple donné ici); tantôt, et c'est le cas le plus fréquent, elle est plus petite (court abducteur du pouce des deux côtés et adducteur du 5^e doigt à droite).

Au contraire, les interosseux dorsaux ont toujours la même chronaxie que les muscles innervés par le médian et le cubital à l'avant-bras.

Je pourrais multiplier les exemples de ces expériences aussi bien sur le nerf cubital que sur le nerf médian. On y voit que le nerf au coude a toujours une chronaxie de 0σ,20 à 0σ,36, aussi bien pour la main que pour l'avant-bras.

Sur les points moteurs à l'avant-bras, la chronaxie est toujours la même que sur le nerf au coude.

Sur les points moteurs à la paume de la main, la chronaxie est variable, quelquefois égale à celle de l'avant-bras, le plus souvent plus petite. La chronaxie la plus petite que j'aie trouvée sur ces muscles est de 0σ,12 (0 mf,03).

III. On prend la chronaxie du nerf médian ou du nerf cubital à différentes hauteurs, en prenant les seuils sur les muscles de la main.

Même électrode différenciée (n° 2).

SUJETS ET DATES.	RHÉOBASE				CHRONAXIE	
	1 ^{re} MESURE		VÉRIFICATION		C ₇ .	τ.
	VOLTAGE	INTENSITÉ	VOLTAGE	INTENSITÉ		
	volls	mA.	volls.	mA.	ml	σ
Nerf médian. — Seuils de l'éminence thénar.						
M. V. — 23 avril 1921.						
Côté { au poignet . . .	65	2,3	"	"	0,11	0 σ,44
droit. { au bras	104	5	"	"	0,05	0 σ,20
Côté { au poignet . . .	75	2,8	"	"	0,13	0 σ,52
gauche. { au bras	102	5	"	"	0,07	0 σ,28
Mlle E. — 21 mai 1921.						
droit. { au poignet . . .	34	1,3	33	1	0,32	1 σ,28
{ au bras	69	3,2	65	3,3	0,05	0 σ,20
27 mai 1921.						
droit. { au poignet . . .	39	1,3	38	1,1	0,21	0 σ,84
{ au bras	61	2,7	"	"	0,08	0 σ,32
gauche. { au poignet . . .	37	1,3	37	1,2	0,19	0 σ,76
{ au bras	51	1,9	"	"	0,08	0 σ,32
Nerf cubital. — Seuils de l'éminence hypothénar.						
M. T.						
{ au poignet . . .	50	1,6	"	"	0,33	1 σ,32
Côté { au coude	60	2,4	"	"	0,07	0 σ,28
droit. { à l'avant-bras.						
{ (assez au-dessus du poignet). . .	66	2,4	"	"	0,08	0 σ,32

Pour les interosseux, les résultats sont les mêmes; leur chronaxie, prise par excitation du nerf cubital au poignet, est toujours trop grande, alors qu'elle est normale quand on la prend par excitation du même nerf au coude ou à l'avant-bras au-dessus du poignet.

Il ressort de l'examen de ces tableaux que :

Les chronaxies des nerfs médian et cubital au coude, pour les muscles de la main, sont régulières et égales à celles de tous les autres muscles du groupe; mais, au poignet, les chronaxies sont variables d'une expérience à l'autre et d'un sujet à l'autre, quel que soit le muscle de la main pris comme témoin de l'excitation du nerf.

Il n'y a donc aucun rapport entre la chronaxie du nerf au poignet et la chronaxie des différents points moteurs de la main.

En résumé, dans les conditions expérimentales employées, la chronaxie est la même tout le long des nerfs médian et cubital pour tout leur domaine, sauf à leur passage au poignet où la chronaxie est plus grande; elle est encore la même sur tous les points moteurs des

muscles innervés par le médian et le cubital, sauf à la paume de la main où elle est trop petite.

J'ai cherché longtemps, sans la trouver, la cause de ces différences que je considérais comme des erreurs. Enfin, en examinant de près les conditions de l'excitation en ces régions (poignet et paume de la main), j'ai remarqué qu'il y a là des particularités qu'on ne retrouve pas ailleurs et qui sont d'ailleurs différentes pour l'une et l'autre ; il faut les étudier séparément :

1^o Conditions d'excitation des nerfs au poignet. — Au poignet, les nerfs médian et cubital sont recouverts, non par des muscles, mais par des tendons, tendons des palmaires pour le médian, tendons du cubital antérieur pour le cubital. Ces tendons forment des cordes tendues qui empêchent d'approcher l'électrode du nerf autant qu'ailleurs, au coude ou au bras, où ils sont au milieu de parties plus molles. En outre, les tendons, mauvais conducteurs, isolent, au moins partiellement, le nerf, et le courant diffuse facilement autour de lui sans le pénétrer ou, tout au moins, en ne le pénétrant que partiellement.

Il est à remarquer que la difficulté que nous étudions ici n'existe pas pour les filets sensitifs, comme nous le verrons ; il est donc probable que les filets sensitifs sont à la périphérie du nerf et les filets moteurs au centre.

Étant donné que tout concourt à démontrer, comme Erb le signale, que les ondes brèves pénètrent moins que les ondes longues, il n'est pas étonnant que l'obstacle apporté par la présence des tendons au-devant du nerf produise une augmentation apparente de la chronaxie.

L'hypothèse qu'il s'agit simplement d'une question de distribution du courant trouve un appui sérieux dans des expériences que j'ai faites avec la collaboration du Dr Ramos, sur la mesure de la chronaxie avec la petite électrode tantôt négative et tantôt positive (NF et N'F).

2^o Comparaison de la chronaxie avec les deux pôles. — Sur tous les nerfs et muscles sur lesquels les résultats sont réguliers, on trouve la même chronaxie avec la cathode diffuse qu'avec la cathode différenciée.

Au contraire, sur les nerfs médian et cubital au poignet, on trouve une chronaxie différente : elle est trop grande quand la petite électrode est négative et normale quand elle est positive ; il y a là un phénomène analogue à celui de l'inversion artificielle.

Quand la petite électrode est positive, le pôle négatif physiologique est situé plus loin de l'électrode instrumentale ; en conséquence, les différences de densité entre deux points voisins s'atténuent, et, par suite, les différences dans la manière dont se distribuent les ondes brèves et les ondes longues se font moins sentir. Au contraire,

quand la petite électrode est négative, le pôle physiologique est plus superficiel et se trouve vraisemblablement dans une région du nerf où la mauvaise distribution du courant, due à la présence du tendon, a son maximum.

Expériences. — On mesure successivement la chronaxie d'un même point moteur ou d'un même nerf avec la petite électrode négative et positive. — Sujets normaux.

I. *Expériences sur quelques muscles au bras ou à l'avant-bras.* — Électrode différenciée la plus grande (n° 1).

MUSCLES SUJETS ET DATES.		PETITE ÉLECTRODE NÉGATIVE (N F.)						PETITE ÉLECTRODE POSITIVE (N' F.)					
		RHÉOBASE				CHRONAXIE		RHÉOBASE				CHRONAXIE	
		1 ^{re} MESURE		VÉRIFICATION				1 ^{re} MESURE		VÉRIFICATION			
		V.	INT.	V.	INT.	mf	σ	V.	INT.	V.	INT.	mf	σ
		volts	mA	volts	mA	mf	σ	volts	mA	volts	mA	mf	σ
1 ^{er} groupe.	M. V. — 23 avril 1921. Biceps.												
	Point { droit	26	0,8	"	"	0,03	0,12	67	2,8	"	"	0,03	0,12
	moteur. { gauche	79	3,4	"	"	0,03	0,12	80	3,7	"	"	0,03	0,12
	M. S. — 19 mai 1921. Biceps.												
	Point { droit	28	0,9	"	"	0,02	0,08	38	1,4	36	1,4	0,02	0,08
	moteur. { gauche	40	1,3	35	1,1	0,03	0,12	52	1,9	"	"	0,02	0,08
3 ^e groupe.	M. V. — 23 avril 1921. Long supinateur (Point moteur) gauche.	77	3,2	"	"	0,03	0,12	70	3,3	"	"	0,03	0,12
	M. V. — 23 avril 1921. Extenseur commun (faisceau du 3 ^e doigt) (Point moteur) droit.	73	3,4	72	3,3	0,17	0,68	91	4,5	"	"	0,15	0,60
	M. R. — 23 avril 1921. (Point moteur) gauche.	38	1,7	"	"	0,13	0,52	56	3,1	"	"	0,13	0,52
	M. P. — 19 mai 1921. Long adducteur du pouce. (Point moteur) gauche.	45	1,7	41	1,5	0,17	0,68	72	3	"	"	0,16	0,64
	M. V. — 23 avril 1921. Grand palmaire. (Point moteur) gauche.	45	2,1	44	2	0,05	0,20	95	4,8	"	"	0,05	0,20
	M. S. — 19 mai 1921. Cubital antérieur (Point moteur) gauche.	48	1,8	"	"	0,07	0,28	75	2,9	"	"	0,06	0,24

Ainsi, la chronaxie sur les muscles du bras et de l'avant-bras, chez trois sujets différents, a toujours été égale avec les deux pôles ; la preuve que l'électrode était bien placée au point moteur est que la rhéobase a été toujours plus grande avec la cathode diffuse (N'F) qu'avec la cathode différenciée (NF).

Le résultat a été le même dans les trois groupes de chronaxie que nous étudions, et que ce tableau fait bien ressortir.

II. — *Expérience sur les nerfs médian et cubital.* — On refait la même expérience que ci-dessus sur ces nerfs.

SUJETS ET DATES. — SIÈGE DE L'EXCITATION ET DE LA RÉPONSE	PETITE ÉLECTRODE NÉGATIVE (N F.)				PETITE ÉLECTRODE POSITIVE (N' F.)			
	RHÉOBASE		CHRONAXIE		RHÉOBASE		CHRONAXIE	
	VOLT.	INTENS.	Cτ	τ	VOLT.	INTENS.	Cτ	τ
	v	mA	mf	σ	v	mA	mf	σ
1° Muscles de l'avant-bras :								
M. S. — 19 mai 1921.								
Nerf médian au bras gauche	64	2,3	0,05	0,20	70	2,6	0,05	0,20
Nerf cubital au coude gauche	46	1,7	0,08	0,32	63	2,5	0,07	0,28
2° Muscles de la main.								
M. V. — 23 avril 1921.								
Nerf médian gauche :								
au poignet	75	2,8	0,13	0,52	87	3,8	0,08	0,32
au bras	102	5	0,07	0,28	83	4	0,07	0,32

Ainsi, au coude ou au bras, les chronaxies sont égales avec les deux pôles et comprises dans les limites ordinaires, sur le nerf médian et le nerf cubital, aussi bien pour les muscles de l'avant-bras que pour les muscles de la main.

Au contraire, au poignet, la chronaxie n'est comprise dans les limites ordinaires qu'avec l'électrode positive (N'F). Avec la cathode différenciée, la chronaxie est trop grande, comme dans toutes les expériences précédentes.

Ces expériences apportent donc un appui sérieux à l'hypothèse que l'erreur dans la mesure de la chronaxie des nerfs au poignet vient de la distribution du courant.

3° Conditions de l'excitation à la paume de la main. — Cette hypothèse ne peut d'ailleurs expliquer les difficultés rencontrées à la paume de la main, puisque la variation est inverse à la paume de la main de ce qu'elle est sur les nerfs excités au poignet.

J'avais d'abord pensé à invoquer, à la paume de la main, la diminution de résistance produite par le réflexe psycho-galvanique, mais je n'avais que des présomptions et non des preuves¹. Je dois dire, d'ailleurs, que je n'étais pas très satisfait de cette explication.

Ensuite, à la suite des recherches que j'ai faites avec David Wechsler, sur la marche de l'intensité à travers la peau et que j'ai exposées dans la première partie, il m'a semblé que l'importance plus grande de la polarisation à la paume de la main que partout ailleurs, pouvait expliquer les chronaxies trop petites.

En poursuivant, avec le Dr Ramos, les recherches dont je viens de parler sur la chronaxie avec les deux pôles, j'ai trouvé des faits qui plaident en faveur de cette hypothèse. En effet, à la paume de la main, la chronaxie est sensiblement la même, et trop petite, dans les deux sens du courant. Voici un exemple caractéristique de cette expérience :

Expérience du 23 avril 1921: — M. R.... — Adducteur du 5^e doigt. — Point moteur. — Petite électrode alternativement négative et positive. — Électrode n° 2.

SIGNE DE L'ÉLECTRODE	RHÉOBASE		CHRONAXIE	
	VOLTAGE	INTENSITÉ	C τ	τ
Petite électrode négative { 1 ^{re} mesure.	60 v	2 mA,3	0 mf,02	0 σ ,08
{ 2 ^e mesure.	57 v	2 mA,1	0 mf,03	0 σ ,10
Petite électrode positive.	75 v	3 mA,4	0 mf,02	0 σ ,08

La chronaxie est donc bien la même dans les deux sens du courant.

Dans l'hypothèse que l'anomalie des mesures à la paume de la main est due à des phénomènes de polarisation et non à une question de distribution du courant, il ne peut en être autrement, la polarisation étant sensiblement égale dans les deux sens du courant.

β . — TECHNIQUE ÉLIMINANT LES CAUSES D'ERREUR DANS LES MESURES SUR LES NERFS AU POIGNET ET SUR LES POINTS MOTEURS A LA PAUME DE LA MAIN. — Ce premier pas étant fait, j'ai cherché un moyen d'éliminer ces causes d'erreur dans la mesure de la chronaxie des nerfs au poignet et des points moteurs à la paume de la main.

1° Au poignet. — Pour le poignet, l'hypothèse d'un obstacle apporté à la distribution régulière du courant par la présence des tendons au-devant des nerfs, m'a suggéré l'idée de changer d'électrode et d'en prendre une assez fine pour être insinuée sous les tendons, de

1. G. BOURGUIGNON. *Journal de Radiologie et d'Électrologie*, loc. cit., T, VI, n° 11, nov. 1922.

façon à la rapprocher le plus possible du nerf, en déprimant la peau. C'est ainsi que j'ai eu recours à l'électrode de d'Arsonval-Lapicque, qu'on réservait, jusqu'à présent, aux recherches sur les animaux. Le tube de verre constitue un manche d'électrode très maniable. Un raccord (voir fig. 14) reçoit à l'une de ses extrémités la tige d'argent et, à son autre extrémité, le fil conducteur. Il est seulement nécessaire d'isoler le raccord et les vis dans un tube de caoutchouc.

L'expérience a justifié mes prévisions, et cette modification de technique a suffi à faire disparaître les anomalies et les irrégularités des mesures sur les nerfs médian et cubital au poignet.

Mon premier essai dans cette voie date du 19 décembre 1922; depuis lors, je n'ai plus trouvé, sur aucun sujet normal, de différences entre la chronaxie mesurée sur les nerfs médian et cubital au poignet et sur les autres parties de leur trajet à l'avant-bras ou au bras.

Voici une expérience démonstrative à cet égard.

Expérience du 19 décembre 1922. — Mme G.... — Nerf médian. —
Seuils des muscles de l'éminence thénar.

1° Excitation à différentes hauteurs.

2° Emploi successif de trois électrodes au poignet :

- a. Electrode n° 2, couramment employée pour les nerfs.
- b. Electrode n° 1, la plus grande des deux électrodes courantes.
- c. Electrode n° 3, de d'Arsonval-Lapicque.

SIÈGE DE L'EXCITATION	ÉLECTRODE	COTÉ	RHÉOBASE		CHRONAXIE	
			VOLTAGE	INTENS.	C τ	τ
Au coude. . .	N° 2	gauche	71 v	2 mA,3	0 mf,08	0 σ ,32
		droit.	95	3 mA,3	0 mf,08	0 σ ,32
A l'avant bras	N° 2	gauche	76	2 mA,6	0 mf,07	0 σ ,28
		1 ^{re} mes. . . .	53	1 mA,35	0 mf,23	0 σ ,92
	N° 2	gauche } 2 ^e —	44	1 mA	0 mf,35	1 σ ,40
		3 ^e —	34	0 mA,8	0 mf,27	1 σ ,08
		1 ^{re} —	43	1 mA,3	0 mf,34	1 σ ,36
		2 ^e —	55	1 mA,35	0 mf,25	1 σ
		droit. } 3 ^e —	50 v. (Rhéobase) prise avec 50 mf)		0 mf,34	1 σ ,36
		4 ^e —	45	1 mA,4	0 mf,35	1 σ ,40
	N° 1	droit. } 1 ^{re} —	62	1 mA,45	0 mf,53	2 σ ,12
		2 ^e —	54	1 mA,3	0 mf,19	0 σ ,76
		3 ^e —	58	1 mA,7	0 mf,70	2 σ ,8
Au poignet. . .	N° 3 ¹	droit. } 1 ^{re} —	41	0 mA,75	0 mf,08	0 σ ,32
		2 ^e —	28	0 mA,4	0 mf,07	0 σ ,28
		3 ^e —	22	0 mA,3	0 mf,07	0 σ ,28

1. On repousse le tendon du grand palmaire en déprimant la peau avec l'électrode qui s'insinue sous le tendon et arrive ainsi plus près du nerf et séparé de lui uniquement par la peau et le tissu sous-cutané.

Ainsi, les chronaxies sont régulières et comprises entre $0\sigma,28$ et $0\sigma,32$ dans l'excitation au coude et à l'avant-bras. Elles sont grandes et irrégulières dans l'excitation au poignet avec l'une ou l'autre des deux électrodes courantes. Elles sont encore plus grandes et plus irrégulières avec la grande électrode (n° 1) qu'avec la petite (n° 2). Evidemment, il est encore plus difficile d'approcher l'électrode du nerf avec la plus grande des deux électrodes courantes (n° 1) qu'avec la plus petite (n° 2).

Avec l'électrode de d'Arsonval-Lapicque (n° 3), au contraire, les mesures sont aussi régulières au poignet qu'au coude et la chronaxie trouvée est la même : elle a été comprise entre $0\sigma,28$ et $0\sigma,32$ au poignet comme au coude.

La question du poignet est donc résolue. Toutes les mesures que j'ai faites depuis avec cette technique sur le médian et le cubital, au poignet, ont été comprises entre $0\sigma,20$ et $0\sigma,36$.

2° A la paume de la main. — La solution du problème n'était pas aussi apparente que dans le cas du poignet.

J'ai pensé d'abord à diminuer les effets de la polarisation en augmentant la résistance en série dans la branche du sujet. Mais j'ai été bientôt arrêté dans cette voie par le fait que les voltages sont plus élevés sur la paume de la main que partout ailleurs, la peau de cette région étant particulièrement résistante, en apparence (polarisation) ou en réalité.

Je n'ai donc pu augmenter la résistance en série d'une manière suffisamment notable et je n'ai eu aucun résultat de ces essais.

J'ai alors pensé à réduire la surface de peau polarisée en recourant à la fine électrode qui m'avait donné un résultat si net au poignet.

Et c'est par ce procédé que j'ai résolu ce deuxième problème.

Avec l'électrode de d'Arsonval-Lapicque, on trouve toujours la chronaxie des muscles de la main comprise entre $0\sigma,20$ et $0\sigma,36$, comme sur tous les autres muscles.

3° Contre-épreuve. — Je me suis alors assuré que la substitution d'une électrode aussi fine aux électrodes courantes ne modifiait les mesures qu'à la paume de la main et au poignet.

J'ai mesuré, avec cette électrode, sur 3 ou 4 sujets, les muscles suivants :

Biceps. — Fléchisseur superficiel. — Interosseux dorsaux.

J'ai trouvé *exactement* les mêmes chronaxies qu'avec les électrodes ordinaires.

Je savais, d'ailleurs, depuis longtemps, que, pour les muscles et nerfs qui donnent des résultats réguliers, c'est-à-dire la totalité des muscles — sauf ceux de la paume de la main —, et la totalité des nerfs — sauf le médian et le cubital au poignet —, la surface de l'électrode

n'a aucune action sur la mesure de la chronaxie; elle n'agit que sur la rhéobase.

La fine électrode est donc indispensable pour mesurer la chronaxie des nerfs au poignet et des points moteurs à la paume de la main. Elle n'est pas utile ailleurs.

Le seul inconvénient de cette petite électrode est d'être moins bien supportée par les sujets, à cause de la plus grande densité du courant.

Aussi, je me propose d'étudier une électrode de taille intermédiaire entre l'électrode de d'Arsonval-Lapicque et le petit tampon (n° 2). On doit trouver une électrode de forme et de dimensions telles qu'elle mette à l'abri des causes d'erreur comme le fait l'électrode de d'Arsonval-Lapicque, tout en ayant une surface assez grande pour en rendre l'application moins douloureuse. L'exposé détaillé de cette étude technique d'un cas particulier m'a paru nécessaire, pour montrer combien il faut être minutieux dans les moindres détails pour expérimenter correctement à travers les téguments. Elle montre aussi combien sont variées les causes d'erreurs qui sont, les unes d'ordre physique (polarisation, résistance, etc.), les autres d'ordre physiologique (siège des électrodes physiologiques), les autres, enfin, d'ordre anatomique (rapport des organes à exciter avec les organes voisins).

La chronaxie établit donc un deuxième groupe constitué par tous les muscles innervés par le médian et le cubital à l'avant-bras et à la main.

Comme je l'ai dit, la chronaxie mesurée sur un grand nombre de sujets pour chacun de ces muscles n'est jamais inférieure à $0\sigma,20$ ni supérieure à $0\sigma,36$. Sur un même sujet, on trouve toujours des valeurs très voisines pour chacun de ces muscles. La chronaxie moyenne de ce groupe est d'environ $0\sigma,28$, comprise entre $0\sigma,20$ et $0\sigma,36$.

c) *Troisième groupe.* — Le troisième groupe est constitué par tous les muscles extenseurs et supinateurs, innervés par le radial à l'avant-bras, à l'exception des radiaux. Ces muscles ont tous une chronaxie comprise entre $0\sigma,44$ et $0\sigma,72$ avec une valeur moyenne de $0\sigma,55$.

J'ai étudié la totalité des muscles de ce domaine; ils sont groupés dans le tableau suivant :

TABLEAU III

Chronaxie des extenseurs des doigts et des supinateurs.

GROUPE	MUSCLES	CHRONAXIE
3 ^e groupe. . . .	Extenseur commun des doigts. . . .	0 σ ,44 à 0 σ ,72
	Faisceau du 4 ^e doigt.	
	Faisceau du 3 ^e doigt.	
	Faisceau de l'index.	
	Extenseur propre de l'index. . . .	
	Extenseur propre du 5 ^e doigt. . . .	
	Long abducteur du pouce.	
	Long extenseur du pouce.	
	Court extenseur du pouce.	
	Cubital postérieur.	
	Court supinateur.	

Sur chacun de ces muscles, on trouve, en faisant les mesures sur un nombre de sujets suffisant, les mêmes valeurs minima et maxima de 0 σ ,44 à 0 σ ,72 : ces limites caractérisent le troisième groupe.

Voilà donc trois groupes de muscles caractérisés chacun par des chronaxies très différentes les unes des autres :

1^{er} groupe : 0 σ ,08 à 0 σ ,16.

2^e groupe : 0 σ ,20 à 0 σ ,36.

3^e groupe : 0 σ ,44 à 0 σ ,72.

Il n'y a aucun chevauchement d'un groupe sur l'autre.

Quelle est la signification de cette répartition de la plupart des muscles du membre supérieur en trois groupes par la chronaxie ?

Avant de répondre à cette question, il est nécessaire d'étudier la chronaxie des trois muscles qui ne figurent dans aucun des trois groupes : le triceps et les deux muscles radiaux.

2^e Triceps brachial et radiaux. — a) *Chronaxie du triceps brachial.* — La chronaxie partage le triceps en deux parties : la longue portion et le vaste externe, d'une part, le vaste interne d'autre part. La longue portion et le vaste externe ont la même chronaxie, comprise entre 0 σ ,16 et 0 σ ,32.

Le vaste interne a une chronaxie comprise entre 0 σ ,08 et 0 σ ,16.

Le vaste interne a donc la même chronaxie que le biceps et le long supinateur.

La longue portion et le vaste externe ont une chronaxie double.

Il est remarquable que le vaste externe et la longue portion, qui ont la même chronaxie, s'isolent mal l'un de l'autre anatomiquement, tandis que le vaste interne, qui a une chronaxie très différente, s'isole très bien du reste du triceps.

b) *Chronaxie des radiaux.* — Le premier et le deuxième radial externe, ont la même chronaxie, comprise entre $0\sigma,20$ et $0\sigma,36$. Elle est différente de la chronaxie du troisième groupe auquel ils se rattacherait anatomiquement. Elle est au contraire égale à la chronaxie du deuxième groupe composé des muscles fléchisseurs et pronateurs, innervés par les nerfs médian et cubital.

Où faut-il placer ces muscles ?

c) *Classification du Triceps et des Radiaux.* — *Constitution d'un quatrième groupe.* — La chronaxie met nettement le vaste interne dans le premier groupe, à côté du biceps, du brachial antérieur et du long supinateur et les radiaux dans le deuxième groupe, à côté des fléchisseurs et pronateurs.

Quant au vaste externe et à la longue portion du triceps, on peut se demander s'il faut les mettre à côté du deuxième groupe ou les mettre à part.

Au point de vue de leur chronaxie, ils se rapprochent beaucoup des muscles du deuxième groupe, mais ils ne se confondent pas avec eux. En effet, la valeur minima de la chronaxie de ces deux portions du triceps est $0\sigma,16$ alors que celle du deuxième groupe est $0\sigma,20$. Sa valeur maxima est $0\sigma,32$ alors que celle du deuxième groupe est $0\sigma,36$.

Si le vaste externe ou la longue portion du triceps de tel sujet peut avoir une chronaxie plus grande que celle des fléchisseurs d'un autre sujet, si dans d'autres cas on trouve l'inverse, ou l'égalité, il n'en reste pas moins vrai que sur l'ensemble des muscles mesurés à ce jour, les limites de la valeur de la chronaxie de ces deux portions du triceps ne se confondent pas avec celles de la chronaxie du deuxième groupe. Si l'on considère la longue portion et le vaste externe comme formant un groupe à part, distinct du deuxième groupe, les deux groupes chevauchent, ils ne se confondent pas.

Comme, d'autre part, il n'y a rien de commun, ni physiologiquement, ni anatomiquement, entre le triceps et les muscles pronateurs et fléchisseurs des doigts et de la main, il m'a semblé plus logique de ne faire rentrer la longue portion du triceps et le vaste externe dans aucun autre groupe et de constituer, avec eux, un petit groupe, intermédiaire au 1^{er} et au 2^e groupes décrits, et s'en distinguant moins bien que les autres groupes ne se distinguent entre eux.

C'est pour ces raisons que j'ai admis un 4^e groupe, qui est venu s'interposer entre le 1^{er} et le 2^e et a pris la place de ce dernier. Le 2^e groupe est devenu le 3^e et le 3^e est devenu le 4^e.

En dernière analyse, la chronaxie permet de classer tous les muscles du membre supérieur en 4 groupes, caractérisés par les valeurs minima et maxima entre lesquelles oscille la chronaxie de chaque muscle du groupe chez tous les sujets normaux.

On peut résumer ces faits dans le tableau suivant :

TABLEAU IV

Résumé des groupes musculaires du membre supérieur
constitués par la chronaxie.

GROUPES	MUSCLES	CHRONAXIE
1 ^{er} groupe.	{ Delloïde Biceps Brachial antérieur Long supinateur Vaste interne du triceps	{ 0 σ,08 à 0 σ,16
2 ^e groupe.	{ Vaste externe du triceps Longue portion du triceps	{ 0 σ,16 à 0 σ,32
3 ^e groupe.	{ Pronateurs Fléchisseurs superficiels et profonds/ Palmaires Tous les muscles de la main Radiaux	{ 0 σ,20 à 0 σ,36
4 ^e groupe.	{ Court supinateur Cubital postérieur Tous les extenseurs Long abducteur du pouce	{ 0 σ,44 à 0 σ,72

3^e Signification de la classification des muscles du membre supérieur par la chronaxie. — Nous pouvons maintenant chercher à interpréter ce tableau naturel dressé par la chronaxie.

A un premier coup d'œil, on remarque que le premier groupe, *si on lui enlève le vaste interne*, est composé des muscles fléchisseurs de l'avant-bras sur le bras et du bras sur l'épaule. Anatomiquement, ce groupe est un groupe radiculaire : c'est le groupe de Duchenne-Erb, innervé par la 5^e et la 6^e racines cervicales.

Le 2^e groupe est constitué exclusivement par les extenseurs de l'avant-bras sur le bras. Il est innervé par le radial, et radicalement, par la 6^e et la 7^e racines cervicales.

Le 3^e groupe, *si on lui enlève les radiaux*, est constitué par tous les muscles fléchisseurs de la main et des doigts et pronateurs. Il est innervé par le médian et le cubital, et radicalement, par la 8^e racine cervicale et la 1^{re} racine dorsale.

Le 4^e groupe est constitué par l'ensemble des muscles extenseurs de la main et des doigts et supinateurs. Il est innervé par le radial et radicalement, par la 7^e racine cervicale.

Au bras, la chronaxie des extenseurs (0 σ,16 à 0 σ,32) est double de celle des fléchisseurs (0 σ,08 à 0 σ,16). On trouve le même rapport entre la chronaxie des extenseurs-supinateurs (0 σ,44 à 0 σ,72) et

celle des fléchisseurs-pronateurs¹ (0σ,20 à 0σ,36) à l'avant-bras.

Ainsi, en laissant de côté le vaste interne et les radiaux, les groupes constitués par la chronaxie sont à la fois physiologiques et anatomiques. Dans chaque groupe, tous les muscles ont à la fois, les mêmes fonctions et la même innervation radiculaire.

Ayant laissé de côté le Triceps brachial et les Radiaux, dans mes premières recherches, j'avais été frappé surtout par les rapports de la chronaxie avec l'innervation radiculaire².

Je ne me suis pas longtemps arrêté à cette manière de voir que j'ai abandonnée aussitôt que j'eus complété l'étude du membre supérieur par celle des radiaux et du triceps³.

Le triceps me laissa d'abord perplexe. Les radiaux me donnèrent la clef du problème.

Les radiaux, en effet, venaient se placer, de par leur chronaxie, à côté des muscles fléchisseurs et pronateurs. Or, ils n'ont ni la même innervation périphérique, ni la même innervation radiculaire. Pour être peu nombreuses, ces exceptions à la classification *radiculaire*, ruinaient complètement ma première hypothèse. Il fallait donc chercher une autre explication.

Au premier abord, les radiaux paraissaient aussi éloignés des fléchisseurs physiologiquement qu'anatomiquement.

Mais, à la réflexion, quand on considère le rôle que jouent les radiaux pendant la flexion des doigts et quand on se rappelle que Duchenne de Boulogne a montré que tout mouvement exige, à la fois, la contraction des muscles actifs et celle de leurs antagonistes, qui jouent le rôle de modérateurs, les choses s'éclairent.

En effet, les sujets atteints de paralysie radiale ont une impotence fonctionnelle qui dépasse, de beaucoup, le domaine des extenseurs. Non seulement ils ne peuvent plus étendre le poignet et les doigts, mais encore ils ne peuvent plus *fléchir* leurs doigts. Mais il suffit de relever artificiellement le poignet de ces malades pour leur rendre

1. Remarquons que la pronation est une véritable flexion et la supination une extension. En effet, dans les flexions au membre supérieur, les faces antérieures des leviers osseux se rapprochent l'une de l'autre, ils s'écartent dans l'extension. Or, la pronation rapproche la face antérieure du radius de celle du cubitus et la supination fait l'inverse. Pronation et flexion sont donc une seule et même fonction; il en est de même pour la supination et l'extension.

2. G. BOURGUIGNON. Procédé de détermination de la chronaxie chez l'homme à l'aide des décharges de condensateurs. Classification des muscles du membre supérieur par la chronaxie suivant leurs origines radiculaires. *Ac. des Sciences*, t. 163, p. 68, 17 juillet 1916. *Soc. de Biologie*, t. LXXIX, 1^{er} juillet 1916.

3. G. BOURGUIGNON. Chronaxie normale du triceps brachial et des radiaux chez l'homme. *Acad. des Sciences*, t. 164, p. 243, 29 janvier 1917. Chronaxie normale des muscles du membre supérieur de l'homme. Leur classification par la chronaxie suivant leur systématisation radiculaire et leurs fonctions. *Soc. de Neurologie*, juillet 1917. Chronaxie normale du Triceps et des Radiaux chez l'homme. Classification fonctionnelle et radiculaire des muscles du membre supérieur de l'homme par la chronaxie. *Soc. de Biologie*, juillet 1917.

immédiatement la possibilité de fléchir leurs doigts. Or, ce sont les radiaux qui relèvent le poignet.

La contraction simultanée des radiaux et des fléchisseurs est donc indispensable à l'accomplissement de la flexion des doigts. Les radiaux ne sont donc pas *antagonistes* des fléchisseurs, mais *synergiques* de la flexion.

On comprend, dès lors, l'égalité de la chronaxie des radiaux et des fléchisseurs.

Pour les radiaux, la place que leur donne la chronaxie dans la classification des muscles est celle que leur assigne *leur rôle physiologique*, leur fonction ¹.

Les radiaux démontrent donc que la classification des muscles par la chronaxie est physiologique, fonctionnelle.

A la suite de ces observations et de ce raisonnement, je fis l'hypothèse que la place donnée aux diverses portions du Triceps par la chronaxie devait s'expliquer de la même façon et je supposai que le vaste interne devait jouer, au bras, le même rôle que celui que jouent les radiaux à l'avant-bras.

Une petite expérience très simple m'a montré que l'hypothèse est exacte. On peut la répéter très facilement sur soi-même.

Si l'on palpe les différentes portions du triceps sur un sujet qui fait une flexion de l'avant-bras sur le bras, sans déployer de force, on constate que *le vaste interne se contracte en même temps que le biceps et le long supinateur, mais que le vaste externe et la longue portion restent flasques.*

La chronaxie divise donc les muscles postérieurs du bras et de l'avant-bras en deux groupes : 1° *les extenseurs proprement dits* qui ont une chronaxie double des fléchisseurs : 2° *les synergiques de la flexion* qui ont la même chronaxie que les fléchisseurs.

Ce rôle est joué au bras par le vaste interne et à l'avant-bras par les radiaux.

La classification des muscles du membre supérieur est donc exclusivement *fonctionnelle*.

Elle se superpose, à peu près, à une classification radiculaire, ce qui s'explique par le fait que les muscles doués de la même fonction sont voisins anatomiquement, ce qui entraîne le voisinage des noyaux d'origine de leurs nerfs dans la moelle.

Les anatomistes, d'ailleurs, tendent, avec Marinesco, à considérer que les colonnes grises d'origine des nerfs moteurs se rangent dans la moelle en groupes fonctionnels.

Mais, la classification anatomique n'est qu'une contingence; la classification physiologique, seule, est nécessaire ².

1. G. BOURGUIGNON. *Loc. cit.*

2. G. BOURGUIGNON. *La chronaxie in Questions Neurologiques d'actualité*. Masson, p. 439.

C'est si vrai qu'il y a de nombreuses variations individuelles dans la distribution des racines, alors que nous avons vu qu'il n'y en a pas dans la distribution de la chronaxie.

Nous pouvons maintenant résumer ces faits en mettant en regard des groupes musculaires constitués par la chronaxie, la fonction de ces groupes.

On constitue, ainsi, le tableau suivant, sur lequel on peut aussi se rendre compte des écarts que présente la classification radiculaire en regard de la classification par la chronaxie.

TABLEAU V

Classification fonctionnelle des muscles des membres supérieurs par la chronaxie.

ORIGINES RADICULAIRES	MUSCLES	CHRONAXIE	GROUPES	FONCTIONS
C ⁵ et C ⁶ .	Deltoïde	0 σ,08 à 0 σ,16	N° 1. . .	Flexion de l'avant-bras et du bras. + 1 synergique (vaste interne).
	Biceps.			
	Brachial antérieur. . . .			
	Long supinateur.			
C ⁶ et C ⁷ .	Vaste interne du triceps.	0 σ,16 à 0 σ,32	N° 2. . .	Extension de l'avant-bras.
	Vaste externe du triceps.			
	Longue portion du tri- ceps.			
	Radiaux.			
C ⁸ et D ¹ .	Palmaires.	0 σ,20 à 0 σ,36	N° 3. . .	Flexion de la main et des doigts et pronation + synergique de la flexion. (Radiaux.)
	Cubital antérieur. . . .			
	Fléchisseurs superficiels et profonds.			
	Pronateurs.			
	Eminences thénar et hy- pothénar.			
	Lombri-caux et interos- seux.			
C ⁷	Cubital postérieur. . . .	0 σ,44 à 0 σ,72	N° 4. . .	Extension de la main et des doigts et supination.
	Extenseurs des doigts et du pouce.			
	Long abducteur du pouce			
	Court supinateur.			

En étudiant ce tableau, on peut en tirer quelques lois simples de la distribution de la chronaxie :

1° Dans un même segment du membre supérieur, tous les muscles synergiques ont la même chronaxie. Ce fait a pour conséquence que la chronaxie divise les extenseurs en deux groupes : 1) les synergiques de la flexion qui ont la même chronaxie que les fléchisseurs : 2) les extenseurs proprement dits qui ont une chronaxie plus grande.

2° Le rapport de la chronaxie des fléchisseurs à la chronaxie des extenseurs est, dans chaque segment, $1/2$.

3° Les muscles du segment proximal ont une chronaxie plus petite que celle du segment distal. Dans chaque fonction, le rapport de la chronaxie des muscles du segment proximal (bras) à celle des muscles du segment distal (avant-bras) est $1/2,5$.

Il y a donc plus de différence entre les muscles de même fonction situés dans deux segments différents qu'entre les muscles de fonction différente (extenseurs et fléchisseurs) au même segment.

En dernière analyse, la distribution de la chronaxie paraît dépendre de deux facteurs :

1° La fonction des muscles.

2° La distance à la moelle, c'est-à-dire la longueur des nerfs.

Il y a peut-être là un rapport de même nature que celui que L. Lapique et Legendre ont montré entre la chronaxie et le diamètre des fibres nerveuses.

Les petites chronaxies appartiennent aux nerfs les plus courts, comme elles appartiennent aux fibres les plus grosses.

Telles sont les lois de physiologie générale que m'a révélées l'étude de la chronaxie du membre supérieur. Elles sont complètement d'accord avec tous les faits que L. Lapique et ses élèves ont mis en lumière par l'étude de la chronaxie dans la série animale.

4° Classification des muscles par l'indice de vitesse d'excitabilité.

— Dans des travaux antérieurs à mes expériences sur la mesure de la chronaxie, j'avais, avec H. Laugier¹, étudié un procédé d'examen des nerfs et muscles de l'homme, au moyen de l'indice de vitesse d'excitabilité déterminé à l'aide du chariot d'induction (rapport des quantités d'électricité liminaires avec l'onde de fermeture et l'onde d'ouverture du courant induit).

Ce procédé était une application à l'homme de celui qu'avaient étudié Mme Lapique et Jeanne Weill².

Il consiste essentiellement à mesurer les seuils avec les ondes isolées de fermeture et d'ouverture du courant induit, mesurées en quantité d'électricité ou, plus exactement, en coefficient d'induction et de faire le rapport du seuil de fermeture au seuil d'ouverture.

H. Laugier a complètement étudié la question dans sa thèse de la Faculté de Médecine, dans laquelle on trouvera le détail de nos expériences³.

Ce procédé, beaucoup moins précis que la mesure de la chronaxie, ne nous avait pas révélé la classification que j'ai trouvée avec la chronaxie.

1. G. BOURGUIGNON et H. LAUGIER. *Bull. de la Société fr. d'Électrothérapie et Radiologie*, mai 1911.

2. MME LAPIQUE et JEANNE WEILL. *Soc. de Biologie*, t. LXVI, p. 355, 27 février 1909.

3. H. LAUGIER. *Thèse de la Faculté de Médecine. Loc. cit.*

Cependant, il nous avait semblé apercevoir des différences systématiques entre les muscles, car, dans une note communiquée à la Société de Neurologie¹, nous disions dans nos conclusions : « 2^e la vitesse d'excitabilité des muscles de l'homme est très constante, pour un même muscle, d'un sujet à l'autre, et *varie* dans de faibles limites, *sur le même sujet, pour les différents muscles* ».

A l'appui de cette conclusion, nous donnions un tableau faisant ressortir de petites différences systématiques entre les indices de vitesse de quelques muscles.

Il m'a paru intéressant, après avoir vu la classification si nette que je viens d'exposer, par la chronaxie, de rechercher si, par hasard, nous n'aurions pas laissé échapper la classification lors de nos recherches sur l'indice déterminé avec le chariot d'induction.

J'ai fait ce travail avec la collaboration de mon assistant au Centre de Neurologie de la X^e région, Jean Lucas², en étudiant tous les chiffres obtenus sur les muscles normaux de nos blessés, que nous examinions par ce procédé, en attendant que j'aie mis au point la mesure de la chronaxie. Nous utilisions, d'une part, le procédé tel que je l'avais décrit avec H. Laugier; et, d'autre part, le procédé modifié et rendu beaucoup plus sensible par l'emploi de deux bobines de self différente pour chercher les seuils à l'onde de fermeture (bobine à grande self) et à l'onde d'ouverture (bobine à petite self). J'ai décrit ce procédé ailleurs et je renvoie, pour les détails, à ce travail³.

Nous avons d'abord retrouvé les mêmes faits généraux que ceux que j'avais publiés avec H. Laugier (1911 et 1912); cependant, sur un même muscle, nous avons eu des écarts (30 % environ) trois fois plus grands.

En étudiant de près les conditions de nos expériences, nous avons vu que les raisons de cette différence sont les suivantes :

Disposant au Centre de Neurologie d'accumulateurs de capacité plus petite (20 ampères-heure au lieu de 80) qu'à la Salpêtrière, leur état de charge était moins constant; et, par suite, les variations de leur résistance intérieure étaient plus grandes: le rapport $\frac{L}{R}$ de l'inducteur subit, de ce fait, des variations qui influent sur la durée de l'onde de fermeture.

Nous avons fait quatre séries de recherches :

a). Pour voir si l'indice de vitesse déterminé avec la technique des

1. G. BOURGUIGNON et H. LAUGIER. Mesure relative de la vitesse d'excitabilité musculaire et nerveuse chez l'homme par le rapport des seuils d'ouverture et de fermeture du courant d'induction (2^e note). Etat normal. *Soc. de Neurologie*, 25 avril 1912.

3. G. BOURGUIGNON et J. LUCAS. Emploi de 2 bobines différentes pour augmenter la sensibilité de la méthode de mesure de la vitesse d'excitabilité par le rapport des quantités d'électricité donnant le seuil avec les ondes isolées du courant induit (indice de vitesse d'excitabilité). *Soc. de Biologie*, t. LXXX, p. 128 3 février 1917.

3. G. BOURGUIGNON et J. LUCAS. *Acad. des Sciences*, t. 163, p. 445, 23 octobre 1916.

deux bobines¹ classait les muscles de la même manière que la chronaxie, nous avons relevé toutes les valeurs de l'indice de vitesse obtenues sur les muscles sains avec ce procédé du 25 avril 1916 au 10 août 1916. Nous avons relevé, pour chaque muscle, l'indice le plus grand, l'indice le plus petit, et la moyenne arithmétique entre tous les indices obtenus sur le muscle considéré.

Le tableau que nous avons obtenu montre que les muscles sont classés de la même manière que par la chronaxie, que l'on considère l'indice le plus grand, l'indice le plus petit ou l'indice moyen. Seul, le triceps n'a pas été étudié par ce procédé ; des quatre groupes déterminés par la chronaxie², nous n'avons donc étudié, au point de vue de l'indice de vitesse que les groupes 1, 3 et 4.

Fermeture : bobine de 3300 ω . — Ouverture : bobine de 1613 ω . (Addition de 1687 ω sans self).

ORIGINES RADICULAIRES	MUSCLES	NOMBRE D'EXPÉRIENCES	INDICE			GROUPEMENT PAR L'INDICE DE VITESSE		
			MAXIMUM	MINIMUM	MOYEN	GROUPE	INDICE MOYEN DU GROUPE	CHRONAXIE MOYENNE DU GROUPE
C V et C VI	Biceps	39	22,5	13,2	15,8	N° 1 flexion et antagoniste	16,2	0 σ , 12
	Deltôïde	43	22,1	14,1	17,2			
	Long supinateur .	49	22,4	13,3	15,8			
C VI et C VII	Radiaux	5	15,8	13,8	14,8	N° 3 flexion et antagoniste	14,8	0 σ , 27
C VIII et D I	Grand palmaire .	16	18,1	12,6	14,8			
	Em. thénar	23	18,7	12	14,8			
	Cubital antérieur .	20	16,4	10,8	14,1			
	Em. hypothénar .	17	18,2	13,3	15,4			
C VII	Extenseur commun	10	14	10	11,7	N° 4 extension	11,9	0 σ , 55
	Muscles du pouce (par le nerf) . .	4	14,1	10,3	12,1			

La classification des muscles par l'indice de vitesse d'excitabilité se superpose donc exactement à leur classification par la chronaxie.

b) Pour vérifier ces résultats, nous avons comparé systématiquement, le même jour, sur un même sujet, l'indice de vitesse pour quelques muscles des groupes 1, 3 et 4.

Nous avons retrouvé la même classification. En voici un exemple :

1. G. BOURGUIGNON et J. LUCAS. *Soc. de Biol.*, loc. cit.

2. G. BOURGUIGNON. *Ac. des Sc.*, t. 164, p. 243, 29 janvier 1917. *Soc. de Biologie*.
Même séance.

Fermeture : bobine de 3300 ω .

Ouverture : bobine de 1613 ω (Addition de 1687 ω sans self).

C V et C VI

C VIII et D I

C VII

Biceps 14,3 Grand palmaire . . 13,4 Extenseur commun. 10,4
Long supinateur. 16,5 Cubital antérieur . 12,3

c) Nous avons ensuite recherché si les indices de vitesse, déterminés avec la technique primitive de G. Bourguignon et H. Laugier, classait encore les muscles de la même façon. Pour cela, nous avons fait le relevé des indices des muscles sains déterminé depuis le début de décembre 1915 jusqu'au 25 avril 1916. Cette période est antérieure à la connaissance de la classification par la chronaxie, et à l'emploi des deux bobines pour la recherche de l'indice de vitesse. Nous avons dans cette période, employé successivement deux bobines différentes.

La 1^{re}, de 3390 ω , a été utilisée du début de décembre 1913 au 15 février 1916; la 2^e, de 3300 ω , nous a servi du 15 février 1916 au 25 avril 1916.

Voici les tableaux des résultats obtenus avec ces deux bobines :

Bobine de 3390 ω . — Il n'y a pas eu d'examen du triceps et des radiaux avec cette bobine.

ORIGINES RADICULAIRES	MUSCLES	NOMBRE D'EXPÉRIENCES	INDICE			GROUPEMENT PAR L'INDICE DE VITESSE (CHARIOT D'INDUCTION) ET LA CHRONAXIE	
			MAXIMUM	MINIMUM	MOYEN	GROUPES	INDICE MOYEN CHRONAXIE MOYENNE
C V et C VI	Biceps	35	48.7	11	14.5	N° 1	13
	Delhoide	30	15.4	10	12.2		
	Long supinateur.	32	16.1	10.1	12.4		
C VIII et D I	Grand palmaire .	42	43.3	9.9	11.6	N° 3	11.6
	Fléchisseur su-						
	perficier	8	44.7	10.3	11.5		
	Em. thénar. . . .	24	14.5	10	12.2		
	Nerf médian. . .	21	13.9	10	11.4		
	Cubital antérieur.	16	13	10	11.3		
C VII	Em. hypothénar.	23	14.1	10	12	N° 4	10.6
	Nerf cubital . . .	30	13.1	10	11.2		
	Extenseur com-						
	mun	25	43.6	7.3	10.8		
	Nerfradial (moins le long supinat et les radiaux) .	49	12.5	7.5	10.5		0 σ , 55

Bobine de 3300 ω . — Seul le triceps n'a pas été examiné avec cette bobine.

ORIGINES RADICULAIRES	MUSCLES	NOMBRE D'EXPÉRIMENTS	INDICE			GROUPEMENT PAR L'INDICE DE VITESSE (CHARIOT D'INDUCTION) ET LA CHRONAXIE		
			MINIMUM	MAXIMUM	MOYEN	GROUPES	INDICE MOYEN	CHRONAXIE MOYENNE
C V et C VI	Biceps.	19	14.7	7.2	10.3	N° 1	10	0 σ , 12
	Delhoïde.	19	14.6	6.4	9.9			
	Long supinateur.	35	14.7	7.4	10.1			
C VI et C VII	Radiaux	9	12.7	7.9	10	N° 3	10	0 σ , 27
C VIII et D I	Grand palmaire	13	14.7	6.8	10.3			
	Em. thénar	33	15.4	7.2	10.3			
	Nerf médian	30	15.6	7	10.3			
	Cubital antérieur.	17	13	7.9	9.5			
	Abducteur du 5 ^e doigt	30	13.8	7.1	9.7			
C VII	Nerf cubital	22	11.5	7.5	10			
	Extenseur commun.	20	10.5	6	8	N° 4	8,5	0 σ , 55
	Nerf radial (moins le long supinateur et les radiaux)	21	11.3	7.3	9.1			

Ces tableaux montrent donc encore la même classification. Mais il est à remarquer que les différences sont moindres que dans le 1^{er} tableau : cela montre bien que la sensibilité du procédé des deux bobines est plus grande.

La classification est moins nette avec celle des deux bobines qui donnait des rapports généralement moins élevés.

Pour la bobine de 3390 ω , la classification apparaît nettement avec le rapport maximum et le rapport moyen.

Pour la bobine de 3300 ω , les groupes 1 et 3 se confondent : ce sont les deux groupes de petite chronaxie.

d) Enfin, j'ai recherché dans les publications antérieures de mes recherches avec H. Laugier, les valeurs de l'indice pour les muscles étudiés. Leur nombre en est moins grand, mais leur classification est la même.

En voici le relevé :

ORIGINES RADICULAIRES	MUSCLES	BOBINE DE 1650 ω (1)	BOBINE DE 3390 ω	
			LIMITES (2)	VALEUR MOYENNE (3)
C V et C VI	Biceps	14,5-16	12-13	12,3
	Deltoïde	14-16	11-12	11,4
C VII	Extenseur commun des doigts	13-14	10-10,3	10,2

Le biceps et le deltoïde ont le même indice; l'extenseur commun a un indice plus petit, qui correspond à une chronaxie plus grande.

Les différentes mesures faites avec différentes bobines antérieurement à la connaissance de la classification des muscles par la chronaxie, donnent donc les mêmes résultats, avec une netteté plus ou moins grande, suivant que les bobines employées donnent des on-les d'ouverture et de fermeture de durée plus ou moins différentes l'une de l'autre.

Les causes de variation d'ordre instrumental (résistance des accumulateurs, régularité de l'interrupteur, etc...) étant beaucoup plus nombreuses avec les courants induits qu'avec les décharges de condensateurs, cette classification n'est mise en évidence avec l'indice de vitesse d'excitabilité, que par la comparaison d'un grand nombre d'expériences et l'établissement de moyennes tandis que la chronaxie, beaucoup plus précise, la fait ressortir sans qu'il y ait jamais de chevauchement des valeurs obtenues pour un groupe de muscles sur celles obtenues pour un autre.

Il était intéressant de montrer que la vitesse d'excitabilité classe toujours les muscles de la même manière que la chronaxie, quel que soit le procédé employé.

B. — Double point moteur et double chronaxie dans les extenseurs des doigts.

1^o Faits en contradiction avec mes recherches antérieures. —

Les résultats de mes recherches sur la chronaxie des muscles du membre supérieur paraissaient donc bien établis lorsque tout fut remis en question, d'une part par les recherches de Strohl avec l'égersimètre, et, d'autre part, par quelques irrégularités qui apparurent dans les mesures faites sur les extenseurs à l'avant-bras par des élèves du laboratoire de la Salpêtrière.

En effet, Strohl⁴ donnait comme valeur de la chronaxie des

1. G. BOURGUIGNON et H. LAUGIER. *Soc. d'Électrothérapie*, mai 1911.

2. G. BOURGUIGNON et H. LAUGIER. *Soc. de Neurologie* (2^e note), 25 avril 1912.

3. H. LAUGIER. *Thèse de la Faculté de Médecine*, p. 111.

4. A. STROHL. *Soc. fr. d'Électrothérapie et Radiologie*, loc. cit.

extenseurs à l'avant-bras $0\sigma,20$ à $0\sigma,30$ au lieu de $0\sigma,44$ à $0\sigma,72$, alors qu'il trouvait $0\sigma,10$ environ sur le biceps. Il y avait concordance entre ses mesures et les miennes pour le biceps et discordance pour les extenseurs : dans ses mesures, *il n'y avait plus aucune différence entre la chronaxie des extenseurs et des fléchisseurs à l'avant-bras*, alors qu'il en existait une entre le biceps et les extenseurs.

Cette publication a coïncidé avec le moment où certains de mes élèves trouvaient, mais seulement de temps en temps, sur les extenseurs des doigts, une chronaxie de $0\sigma,20$ à $0\sigma,36$ ($0\text{mf},05$ à $0\text{mf},09$) avec les condensateurs : *c'était, comme pour Strohl, la même chronaxie que celle des fléchisseurs*. Je vérifiai moi-même ces mesures et les trouvai exactes.

Ainsi, sur les extenseurs des doigts, tantôt on trouvait les résultats que j'avais annoncés et tantôt on trouvait des résultats différents.

Dans une expérience faite au laboratoire de la Salpêtrière avec A. Strohl, nous avons trouvé, sur l'extenseur commun des doigts, avec l'égersimètre, avec le pistolet de Weiss et avec les condensateurs, la chronaxie de $0\sigma,20$ à $0\sigma,36$ au lieu de $0\sigma,44$ à $0\sigma,72$ et cela sur deux sujets. Au contraire, sur le biceps, nous avons trouvé la chronaxie de $0\sigma,10$ environ. Voici cette expérience :

Expérience du 1^{er} juillet 1921. — La chronaxie est mesurée au point moteur du même muscle successivement avec l'égersimètre de Strohl, le pistolet de Weiss et les condensateurs.

Montage tantôt en série et tantôt en dérivation pour l'égersimètre et le pistolet. Quand le montage est en série, pour ces deux instruments on ne prend la rhéobase qu'une fois pour les deux et on la reprend pour les condensateurs. Avec le montage en dérivation, on ne prend qu'une seule fois la rhéobase et on fait les trois mesures de chronaxie avec cette rhéobase doublée. La rhéobase n'a été mesurée qu'en volts.

Egersimètre : $\tau = D \times 0,52$ Pistolet : $\tau = D \times 0\sigma,043$. Condensateurs : $\tau = C\tau \times 4\sigma$.

SUJETS ET MUSCLES	MONTAGE	INSTRUMENT	RHÉOBASE EN VOLTS	CHRONAXIE
Biceps droit M. B. . . .	Série	Egersimètre. .	23	0 σ.12
		Pistolet		0 σ.156
	Dérivation .	Condensateurs	30	0 σ.13
				0 σ.16
Extens ^r commun des doigts :	Dérivation .	Egersimètre. .	71	0 σ.27
		Pistolet		0 σ.22
		Condensateurs		0 σ.28
1 ^{er} sujet : M. L.	Série. . . .	Egersimètre. .	69	0 σ.32
		Condensateurs		0 σ.24
2 ^e sujet : M. M.	Dérivation .	Egersimètre. .	72	0 σ.32
		Condensateurs		0 σ.24

L'expérience ne laisse donc aucun doute sur la réalité du fait que, dans certains cas, on trouve la même chronaxie pour les extenseurs que pour les fléchisseurs et elle montre que les trois instruments de mesure se vérifient mutuellement.

En poursuivant ces recherches chez un assez grand nombre de sujets normaux j'ai retrouvé, tantôt la chronaxie de $0\sigma,44$ à $0\sigma,72$, tantôt celle de $0\sigma,20$ à $0\sigma,36$, pour les extenseurs, et cela, non seulement pour l'extenseur commun, mais aussi pour tous les autres extenseurs. Jusqu'ici, je trouvais l'une ou l'autre chronaxie suivant les sujets.

Mais je suis allé plus loin et j'ai vu qu'il suffisait souvent de faire un léger déplacement de l'électrode pour trouver, chez le même sujet, soit la chronaxie de $0\sigma,20$ à $0\sigma,36$, soit la chronaxie de $0\sigma,44$ à $0\sigma,72$. En voici un exemple :

Expérience du 24 mars 1920. — Extenseur propre de l'index gauche. — M. L... — Point moteur. — Décharges de condensateurs. — Electrode différenciée n° 1.

POSITION DE L'ÉLECTRODE	RHÉOBASE		CHRONAXIE	
	VOLTAGE	INTENSITÉ	Cτ.	τ.
	volts.	mA.	mf.	
1 ^{re} position de l'électrode . . { 1 ^{re} mesure .	68	2,6	0,09	$0\sigma,36$
	62	2,3	0,07	$0\sigma,32$
2 ^{me} position de l'électrode : { 1 ^{re} —	72	2,9	0,17	$0\sigma,68$
	73	2,8	0,14	$0\sigma,56$
	69	2,7	0,15	$0\sigma,60$

Ainsi, sur le même sujet, on peut trouver, avec un léger déplacement de l'électrode, l'une ou l'autre des deux chronaxies. Ces chronaxies sont d'autant plus certainement exactes toutes les deux que la rhéobase est plus grande dans les mesures où la chronaxie est la plus grande. On ne peut donc pas dire que là où la chronaxie était plus petite, cela était dû à une erreur sur la rhéobase qu'on avait prise trop grande. C'est d'ailleurs un fait qui ressort de toutes mes mesures que, à l'état normal, d'une manière très générale, les chronaxies et les rhéobases sont, en même temps, grandes ou petites, contrairement à ce qui se passe le plus souvent dans les variations pathologiques ou expérimentales de la chronaxie, où, comme nous le verrons, la rhéobase et la chronaxie varient, en général, en sens inverse, de sorte que les petites chronaxies correspondent aux grandes rhéobases.

Il était donc impossible d'attribuer à des erreurs d'expériences les différences entre les chronaxies prises sur les extenseurs. Il faut

aussi remarquer que les chronaxies trouvées n'étaient pas quelconques ; c'était toujours $0\sigma,20$ à $0\sigma,36$ ou $0\sigma,44$ à $0\sigma,72$ que je trouvais sur les extenseurs. Jamais je n'ai trouvé de chronaxies comprises entre $0\sigma,36$ et $0\sigma,44$, comme cela aurait dû arriver s'il s'était agi d'erreurs de mesure. Sur un même sujet, les deux chronaxies trouvées étaient toujours sensiblement dans le rapport de 1 à 2, comme l'ensemble des grandes et petites chronaxies trouvées sur les extenseurs de différents sujets.

Je ne pouvais donc interpréter ces faits comme des erreurs de mesure. Je ne pouvais pas non plus y voir des variations individuelles, puisque je trouvais les deux chronaxies sur le même sujet. L'hypothèse que j'avais faite un moment qu'il pouvait s'agir de modifications de la chronaxie sous l'influence de la très grande chaleur qu'il faisait au moment où j'ai vu ces faits pour la première fois, ne pouvait se soutenir, puisque j'ai retrouvé les petites chronaxies pendant l'hiver et que je trouvais souvent les deux chronaxies, le même jour, sur le même sujet.

Je me suis alors demandé si la chronaxie pouvait dépendre de la position de l'électrode, ce qui aurait été grave pour l'ensemble des recherches que je viens d'exposer, ou si les extenseurs avaient réellement deux chronaxies au lieu d'une, et j'ai entrepris l'étude expérimentale de cet important problème.

2° Expériences sur la chronaxie des extenseurs. — a) *Détermination exacte du point moteur des extenseurs.* — *Double point moteur* — Faisant abstraction de toutes les descriptions classiques des points moteurs des extenseurs, j'explorai soigneusement toute la surface des différents extenseurs en allant tantôt de haut en bas, de l'insertion supérieure vers le tendon, et tantôt de bas en haut, en allant du tendon vers l'insertion supérieure.

Je fis cette exploration avec des courants faibles, moyens et forts, successivement avec le courant galvanique, les courants induits et les décharges de condensateurs. Les résultats ont été les mêmes avec les trois sortes d'ondes.

Si on emploie un courant trop fort, on obtient des secousses sensiblement semblables entre elles, en n'importe quel point du muscle : les courants forts ne peuvent servir à l'étude du problème posé. Mais si on emploie des courants d'intensité convenable, qu'on détermine par tâtonnement, on observe un fait inattendu, qui explique d'ailleurs les écarts qu'on trouve dans la position des points moteurs des extenseurs, des tableaux donnés par différents auteurs.

Quand on explore le muscle de haut en bas, on arrive assez vite à un point d'excitabilité maxima. En descendant très peu, on n'obtient plus d'excitation. On conclut qu'on a ainsi déterminé le point moteur.

Quand on explore le muscle de bas en haut, le même phénomène

se reproduit, mais le point moteur ainsi déterminé ne coïncide pas avec le premier. Il se trouve situé plus près du tendon et il y a une distance de 1 centimètre à 3 centimètres environ entre les deux points, suivant les sujets.

L'excitation, dans cet intervalle, est inefficace ou moins efficace.

Si, après avoir exploré de bas en haut et après avoir déterminé le point moteur inférieur, on cherche le seuil sur ce point, on n'obtient de secousses en aucun autre point. Il semble alors qu'il n'y ait qu'un point d'excitabilité maxima, le point inférieur.

Si l'on refait la même expérience en allant de haut en bas, on trouve nettement deux points d'excitabilité optima, séparés par une zone où l'excitation est inefficace.

Chez la plupart des sujets, quand on a le seuil sur le point supérieur, rencontré le premier, la contraction est plus grande que le seuil, avec la même intensité, sur le point inférieur. C'est dire que la rhéobase est plus petite sur le point inférieur que sur le point supérieur. Étant donnés les résultats de ces expériences, on comprend qu'on trouve seulement l'un ou l'autre point, suivant qu'on a l'habitude de rechercher le point moteur en allant de bas en haut ou de haut en bas.

Ces expériences ne comportent qu'une seule conclusion : les extenseurs n'ont pas un seul point moteur, mais *deux points moteurs*, distants l'un de l'autre de 1 centimètre à 3 centimètres suivant les sujets. Ce fait n'a rien qui doive surprendre après l'étude expérimentale que j'ai faite du point moteur (voir page 18). Nous avons vu qu'il existe des points moteurs accessoires et que chaque point moteur correspond à la zone d'épanouissement d'une branche nerveuse.

Sauf pour le court supinateur, profondément situé et accessible seulement en un point très limité et exclusivement dans une position déterminée de l'avant-bras intermédiaire à la pronation et à la supination, j'ai trouvé le double point moteur sur tous les muscles innervés par le radial à l'avant-bras, sauf les radiaux et le long supinateur.

C'est dire que j'ai trouvé le double point moteur sur tous les muscles du 4^e groupe, sauf le court supinateur qui échappe, pour des raisons anatomiques, à une exploration complète.

Par contre, je n'ai pu trouver le double point moteur ni dans les radiaux, ni dans aucun des muscles des groupes n° 1 (fléchisseurs au bras), n° 2 (extenseurs au bras), et n° 3 (fléchisseurs à l'avant-bras).

Ce fait que j'ai trouvé sur tous les muscles du 4^e groupe, sauf le court supinateur (extenseur commun des doigts, sur chacun des faisceaux qui le composent, extenseur propre de l'index, extenseur propre du 5^e doigt, long abducteur du pouce, long et court extenseurs du pouce, cubital postérieur) a été vu, pour l'extenseur propre de l'index et le long abducteur du pouce, par différents auteurs, mais non par tous.

J'ai recherché, en effet, les tableaux de points moteurs donnés dans les ouvrages de Erb, de Castex et de Guilleminot.

Castex¹, dans sa description des points moteurs et dans les tableaux qu'il donne, ne décrit et ne figure qu'un seul point moteur pour chaque muscle : d'après la position, il semble bien que c'est, le plus souvent, le point moteur inférieur. Mais Guilleminot² figure *deux points moteurs* pour l'*extenseur propre de l'index*, et Erb³ représente la même chose, non seulement pour l'*extenseur propre de l'index*, mais aussi pour le long extenseur du pouce. Pour les autres muscles, il semble bien, autant qu'on peut en juger sur les schémas, que ces deux auteurs figurent, le plus souvent, le point moteur supérieur.

Le fait entrevu par Erb pour ces deux extenseurs, signalé par Guilleminot pour l'un des deux, oublié par Castex, est donc, d'après mes recherches, commun à tous les muscles extenseurs à l'avant-bras.

La situation des deux points moteurs figurés par Erb et Guilleminot pour l'*extenseur propre de l'index* et par Erb pour le long extenseur du pouce, coïncide assez exactement avec la situation des deux points moteurs que j'ai trouvés.

L'existence de ces deux points moteurs entraînerait-elle l'existence de deux nerfs pour les extenseurs? C'est une chose qui est à rechercher par la dissection, et je me propose de le faire aussitôt que je disposerai des moyens nécessaires.

Il est peu probable qu'il s'agisse de deux nerfs isolés avant leur entrée dans le muscle : ce fait aurait été vu par les anatomistes depuis longtemps. Mais il n'est pas nécessaire qu'il y ait deux nerfs pour qu'il y ait deux points moteurs, d'après mes expériences sur le point moteur chez le lapin et le chien; il suffit, qu'après avoir pénétré dans le muscle, le nerf se divise en deux branches qui s'épanouissent à une petite distance l'une de l'autre. Si l'étude physiologique ne nous permet pas de dire à quel endroit précis se séparent les deux branches, elle nous permet d'affirmer qu'il y a deux branches intra-musculaires et deux points d'épanouissement distincts.

b) *Chronaxie des deux points moteurs des extenseurs.* — Aussitôt mis en lumière les deux points moteurs des extenseurs, j'en mesurai la chronaxie en les déterminant d'abord avec la plus grande précision possible. L'expérience a montré que l'on trouve toujours, chez tous les sujets et sur tous les muscles extenseurs à l'avant-bras appartenant au 4^e groupe, la chronaxie de 0σ,44 à 0σ,72 sur le point moteur supérieur et celle de 0σ,20 à 0σ,36 sur le point moteur inférieur.

Quand, sur le même sujet, on compare la chronaxie des extenseurs

1. CASTEX. *Loc. cit.*, p. 395 et 405.

2. GUILLEMINOT. *Loc. cit.* Planches hors texte à la fin de l'ouvrage.

3. ERB. *Loc. cit.*, p. 267.

et des fléchisseurs, on trouve toujours la même chronaxie que celle des fléchisseurs sur le point moteur inférieur et toujours la chronaxie double de celle des fléchisseurs sur le point moteur supérieur.

Chez un de mes collaborateurs même, le Dr Spilliaert, j'ai trouvé, d'un côté, une chronaxie particulièrement petite sur le point moteur inférieur : *il avait la même chronaxie sur les fléchisseurs.*

Il est à remarquer, et c'est une preuve que les muscles extenseurs sont composés de fibres de rapidité différente, que la contraction est toujours plus brusque quand on fait l'excitation au point moteur inférieur, de petite chronaxie, que quand on la fait sur le point moteur supérieur, de grande chronaxie.

Dans certains états pathologiques légers, j'ai vu la chronaxie augmenter simultanément sur les deux points moteurs, mais le rapport entre les deux rester toujours 1/2. Dans des états pathologiques plus graves, au contraire, on voit s'effacer ces différences : c'est là un fait général, ainsi que je le démontrerai plus loin : *la pathologie efface les différenciations physiologiques.*

Je pourrais multiplier les preuves de l'existence de deux chronaxies pour les extenseurs à l'avant-bras. Celles que je viens d'exposer me paraissent amplement suffisantes.

J'ai cherché ensuite si on pouvait retrouver les deux chronaxies par excitation du nerf. Jusqu'à présent, je n'y ai pas réussi. Dans l'excitation du nerf, c'est toujours la grande chronaxie ($0\sigma,44$ à $0\sigma,72$) que l'on trouve chez les sujets normaux. On peut faire différentes hypothèses pour expliquer ce fait. N'en ayant aucune actuellement capable d'être vérifiée expérimentalement, il est inutile de s'y étendre. Pour le moment, c'est un fait qui attend son explication.

Tous les faits que je viens d'exposer sont nettement mis en évidence dans les exemples suivants :

Expériences. — I. Outre la mesure de la chronaxie du point moteur supérieur et du point moteur inférieur, j'ai fait sur certains sujets la comparaison avec la chronaxie prise sur le nerf radial et avec la chronaxie d'un muscle du 3^e groupe (fléchisseurs et radiaux). — Électrode différenciée n° 1.

Ces expériences montrent :

1^o La chronaxie du point moteur supérieur est le double de celle du point moteur inférieur pour tous les extenseurs (4^e groupe);

2^o La chronaxie du nerf est égale à celle du point moteur supérieur;

3^o La chronaxie du point moteur inférieur est égale à celle des fléchisseurs et des radiaux (3^e groupe $0\sigma, 20$ à $0\sigma, 36$);

4^o La rhéobase du point moteur inférieur est plus petite que celle du point moteur supérieur, sauf de rares exceptions : les petites chronaxies correspondent aux petites rhéobases.

C'est ce qui ressort nettement du tableau suivant :

SUJETS ET DATES	MUSCLES		RHÉOBASE				CHRONAXIE		
			1 ^{re} MESURE		VÉRIFICATION		Cτ	τ	
			VOLT.	INTEN.	VOLT.	INTEN.			
			v.	mA	v.	mA	mf	σ	
M. M. 26 décembre 1921	Extenseur propre de l'index gauche	Nerf radial . . .	62	2,1			0,13	0,52	
		Point moteur su- périeur . . .	85	3,1			0,16	0,64	
		Point moteur in- férieur . . .	45	1,3			0,08	0,32	
	Long abducteur du pouce gauche	Point moteur su- périeur . . .	37	1	37	1	0,13	0,52	
		Point moteur in- férieur . . .	55	1,5			0,06	0,24	
M. L. 17 mars 1922	1 ^{er} radial gauche	Point moteur . .	65	2,2			0,07	0,28	
		Point moteur su- périeur :							
	Extenseur propre de l'index gauche	1 ^{re} mesure . .	60	2,7			0,14	0,56	
		2 ^e mesure . .	60	2,7			0,13	0,52	
		Point moteur in- férieur :							
M. D. 12 octobre 1922	Extenseur commun, 3 ^e doigt droit.	1 ^{re} mesure . .	58	2,6			0,05	0,20	
		2 ^e mesure . .	60	2,7			0,09	0,36	
	Extenseur commun, 4 ^e doigt droit.	Point moteur su- périeur . . .	97	3,45			0,14	0,53	
		Point moteur in- férieur . . .	48	1,8			0,05	0,20	
	Extenseur propre de l'index droit	Point moteur su- périeur . . .	96	3,2			0,17	0,68	
		Point moteur in- férieur . . .	60	1,8			0,06	0,24	
	Fléchisseur superficiel, 3 ^e doigt	Point moteur su- périeur . . .	93	3,4			0,17	0,68	
		Point moteur in- férieur . . .	45	0,9			0,06	0,24	
	Fléchisseur superficiel, 4 ^e doigt	Point moteur . .	80	2,4			0,06	0,24	
		Point moteur . .	67	2			0,06	0,24	
	M. B. 10 novembre 1922	Extenseur propre de l'index droit	Nerf radial . . .	92	3,1			0,16	0,64
			Point moteur su- périeur . . .	106	3,9			0,14	0,56
Point moteur in- férieur . . .			61	1,6			0,08	0,32	
Fléchisseur superficiel, 3 ^e doigt droit		Point moteur . .	63	2,2			0,05	0,20	
		Point moteur su- périeur . . .	85	3,35			0,16	0,64	
Extenseur commun, 4 ^e doigt gauche.		Point moteur in- férieur . . .	80	3,1			0,09	0,36	
		Fléchisseur superficiel, 4 ^e doigt gauche	Point moteur . .	50	1,7			0,08	0,32
M. T. 8 mai 1922	Extenseur propre de l'index droit	Nerf radial . . .	35	1,2	35	1,25	0,17	0,68	
		Point moteur su- périeur . . .	80	3,9	80	3,95	0,15	0,60	
		Point moteur in- férieur . . .	50	2,1	48	2,1	0,07	0,28	
	Fléchisseur superficiel, 3 ^e doigt droit	Point moteur . .	37	0,5	37	0,5	0,07	0,28	

II. — Voici maintenant l'expérience qui montre que la chronaxie du point moteur inférieur est toujours égale à celle des fléchisseurs, même quand la chronaxie est plus petite que la normale sur l'un d'eux.

D^r Sp... — *Expérience du 3 mai 1922*

COTÉ	MUSCLES		RHÉOBASE				CHRONAXIE	
			1 ^{re} MESURE		VÉRIFICATION			
			Volt	Intensité	Volt	Intensité	C τ	τ
Droit.	Extenseur propre de l'index	Point moteur supérieur	v.	mH.	v.	mH.	mf.	σ
		Point moteur inférieur	54	2,1	53	2,1	0,11	0,44
	Fléchisseur superficiel (4 ^e doigt)	Point moteur . .	36	0,9	33	0,85	0,02	0,08
		Point moteur . .	43	1,7	43	1,7	0,02	0,08
Gauche.	Extenseur propre de l'index	Point moteur supérieur	67	2,7	68	2,8	0,17	0,68
		Point moteur inférieur	40	1,1	38	1,1	0,05	0,20
	Fléchisseur superficiel	Point moteur . .	45	1,7	45	1,7	0,05	0,20
		Point moteur . .						

Du côté gauche, on trouve donc les mêmes chronaxies que chez tous les sujets.

Du côté droit, la chronaxie est diminuée sur le point moteur inférieur et normale sur le point moteur supérieur. Mais il est remarquable de voir que la chronaxie est plus petite à la fois sur le point moteur inférieur de l'extenseur et sur le fléchisseur. L'association fonctionnelle de ces muscles est ainsi bien mise en évidence.

III. — Enfin, voici les chronaxies des extenseurs d'un sujet atteint d'un reliquat de poliomyélite datant de l'enfance au membre supérieur droit. A gauche, les chronaxies sont normales; mais à droite, la chronaxie est modifiée dans les fléchisseurs et sensiblement égales à celle du point moteur inférieur des extenseurs.

Expérience du 20 mars 1922. — Mlle L... 21 ans.

Les deux points moteurs de l'extenseur propre de l'index sont à environ 4 centimètres l'un de l'autre. On les trouve situés d'une manière symétrique des deux côtés.

CÔTÉ	MUSCLES	RHÉOBASE		CHRONAXIE	
		VOLT.	INTENS.	$C\tau$	τ
Droit (malade)	Extenseur propre de l'index				
	Point moteur supérieur	72	3,2	0,26	1,04
	Point moteur inférieur	68	2,8	0,13	0,52
	Fléchisseur superficiel (faisceau du 3 ^e doigt)	64	2,5	0,12	0,48
Gauche.	Extenseur propre de l'index				
	Point moteur supérieur	65	2,8	0,12	0,48
	Point moteur inférieur	52	2,2	0,06	0,24
	Fléchisseur superficiel (faisceau du 3 ^e doigt)	66	2,7	0,08	0,32

A droite, la chronaxie est doublée sur tous les points moteurs examinés; mais le rapport des chronaxies des deux points moteurs de l'extenseur propre de l'index reste le même qu'à l'état normal, comme on le voit par la comparaison des deux côtés.

La chronaxie du point moteur inférieur de l'extenseur est égale à celle du fléchisseur, du côté malade comme du côté sain.

De ces expériences, il résulte donc que les muscles du 4^e groupe ont deux points moteurs et deux chronaxies. A la petite chronaxie correspond une contraction plus rapide qu'à la grande chronaxie. Les faits observés par Strohl et ceux observés par moi-même étaient donc tous exacts, mais incomplets.

Si l'on considère, d'une part, que la rhéobase est plus petite sur le point moteur inférieur que sur le point moteur supérieur et que, d'autre part, il y a une zone silencieuse entre les deux points moteurs, on comprend que, suivant qu'on a l'habitude de chercher le point moteur en allant de bas en haut ou de haut en bas, on s'arrête à l'un ou à l'autre des points moteurs et on ignore l'autre : on ne trouve qu'une des deux chronaxies.

Or, j'avais justement l'habitude de chercher les points moteurs de haut en bas. Ce n'est donc qu'exceptionnellement que je rencontrais le point moteur inférieur.

Mais pour ceux qui cherchent le point moteur en allant de bas en haut, la rhéobase plus petite du point moteur inférieur est cause qu'il ne rencontre jamais le point moteur supérieur.

Il a fallu ces accidents qui m'ont déterminé à refaire systématiquement l'étude des points moteurs pour que je m'aperçoive qu'il y en avait deux.

C. — Expériences sur l'action de la distance des électrodes
en méthode monopolaire chez l'homme

Malgré la netteté des expériences que je viens d'exposer, je me fis, avant de conclure formellement à l'existence des deux chronaxies dans les muscles à double point moteur, l'objection qu'il n'y avait peut-être là qu'une différence dans la distance des électrodes physiologiques, ce qui suffit à modifier la chronaxie. Strohl¹ d'ailleurs fait la même objection de son côté d'une manière générale et il base sur elle l'hypothèse que les différences que j'ai montrées entre les chronaxies des différents muscles ne traduisent peut-être pas toujours des propriétés physiologiques. Au moment où il a fait cette objection, j'avais déjà réalisé les expériences qui y répondent et j'y fais allusion dans mon travail du *Journal de Radiologie et d'Electrologie*² que j'ai déjà cité. Je m'étais donc demandé si la différence des chronaxies observées sur les deux points moteurs des extenseurs ne pouvaient pas s'expliquer par des différences dans la distance des électrodes physiologiques, quand on fait l'excitation à l'un ou à l'autre point moteur. G. Banu, R. Dériaud et H. Laugier³ venaient en effet de publier que l'action de la distance des électrodes sur la chronaxie, mise en lumière en méthode bipolaire par H. Cardot et H. Laugier⁴ se retrouve en méthode monopolaire. Banu, Dériaud et Laugier ont vu, sur la grenouille entière, que la chronaxie, en méthode monopolaire, est toujours plus petite sur le nerf que sur le muscle dans le rapport de 1/2 ou de 1/3, sans que les auteurs précisent, d'ailleurs, si l'excitation du muscle était faite avec une électrode placée au point moteur ou à l'extrémité du muscle. En méthode bipolaire, ils trouvent comme L. et Mme Lapique l'ont démontré depuis longtemps⁵ la même chronaxie sur le nerf et sur le muscle et cette chronaxie est égale à celle du muscle en méthode monopolaire : c'est donc la chronaxie du nerf qui est diminuée. Ils ont alors fait des expériences sur le nerf et le muscle isolés en méthode monopolaire et ils ont vu que, une fine cathode restant en place sur le nerf, le déplacement de l'anode diffuse fait augmenter ou diminuer la chronaxie suivant que l'électrode anodique physiologique se rapproche ou s'éloigne de la cathode, exactement comme on l'observe en rapprochant ou en éloignant les deux électrodes l'une de l'autre en méthode bipolaire.

1. A. STROHL. *Journal de Radiologie et d'Electrologie*, Loc. cit.

2. G. BOURGUIGNON. *Journal de Radiologie et d'Electrologie*, Loc. cit.

3. G. BANU, R. DÉRIAUD et H. LAUGIER. Isochronisme du nerf et du muscle et excitation unipolaire. *C. R. de la Soc. de Biologie*, t. LXXXV, n° 32, p. 841, 12 novembre 1921 et Thèse de G. BANU, loc. cit., p. 40.

4. H. CARDOT et H. LAUGIER. Influence de l'écartement des électrodes dans les mesures d'excitabilité. *C. R. de la Soc. de Biologie*, 28 mars 1914.

5. L. et MME LAPICQUE. Comparaison de l'excitabilité du muscle à celle de son nerf moteur. *C. R. de la Soc. Biologie*, 26 mai 1906. — Variations d'excitabilité du muscle dans la curarisation. *C. R. de la Soc. de Biologie*, 9 juin 1906.

Ces phénomènes peuvent-ils se produire dans les conditions de l'excitation percutanée chez l'homme? *A priori*, il ne paraît pas vraisemblable qu'il en soit ainsi.

En effet, les distances pour lesquelles l'action de l'écart des électrodes se fait sentir sont très petites et il est peu probable, étant donné que la peau est interposée et que l'électrode instrumentale est assez loin du tissu excité, qu'il puisse se produire des variations dans la situation relative des électrodes physiologiques capables de faire varier la chronaxie.

Or, dans les expériences que je viens de rapporter sur la grenouille entière, Banu, Dériaud et Laugier plaçaient la petite électrode sur le nerf ou le muscle dénudés : le contact de l'électrode est donc beaucoup plus immédiat que chez l'Homme. Les conditions ne sont pas exactement les mêmes. Je n'en veux pour preuve que le fait que, chez l'Homme, on trouve la même chronaxie sur le nerf et sur le muscle au lieu de trouver une chronaxie différente comme sur la grenouille en méthode monopolaire. Enfin, à la petite chronaxie du point moteur inférieur correspond une contraction plus vive qu'à la grande chronaxie du point moteur supérieur.

Ces raisons me faisaient penser que l'action de la distance des électrodes sur la chronaxie ne devait pas se faire sentir dans les conditions de l'expérimentation sur l'Homme et que, par conséquent, les différences de chronaxie observées entre les différents muscles et nerfs et entre les deux points moteurs des extenseurs traduisaient bien des propriétés physiologiques. Il était cependant nécessaire de s'en assurer expérimentalement; c'est ce que j'ai fait avec la collaboration du Dr Spilliaert, qui servait de sujet.

Pour faire varier la distance des électrodes physiologiques, nous avons procédé de deux manières : 1° nous avons déplacé la grande électrode en méthode monopolaire; 2° nous avons opéré en méthode bipolaire, en écartant les électrodes ou en les rapprochant le plus possible : nous avons pris l'électrode la plus petite dont nous disposions, c'est-à-dire le tampon N° 2 de 1 cmq de surface environ. Je n'avais pas encore songé à me servir de l'électrode de d'Arsonval-Lapicque. Peut-être y aurait-il lieu de refaire ces expériences avec cette petite électrode.

Quelle que soit la façon dont nous ayons fait varier la situation relative des électrodes, nous n'avons pu faire varier la chronaxie ni sur l'un, ni sur l'autre des points moteurs. On peut s'en rendre compte en examinant le détail de ces expériences.

1° Expériences en méthode monopolaire. — Si l'on se reporte aux expériences que j'ai exposées dans la première partie de ce travail sur la méthode monopolaire, on conçoit que la meilleure manière de modifier la situation relative des deux électrodes physiologiques,

sans cesser d'avoir une cathode au niveau du point que l'on veut exciter, est de déplacer la grande électrode positive et de la reporter à l'extrémité du membre. On ne modifie pas le point où les lignes de force quittent la zone d'épanouissement du nerf sous la petite électrode, mais on modifie la façon dont elles l'abordent. Si la distance des deux électrodes physiologiques peut varier dans les limites dans lesquelles l'action de la distance des électrodes se fait sentir, on doit trouver une position de l'électrode pour laquelle la chronaxie augmente ou diminue. L'expérience a montré qu'il n'en est rien. Quelle que soit la position de la grande électrode anodique, la chronaxie ne varie pas et on observe toujours la même différence entre les deux points moteurs. Voici ces expériences :

Expériences du 29 mars 1922. — 1° Détermination de la chronaxie des deux points moteurs en méthode monopolaire ordinaire. Grande électrode sur le sternum. Electrode différenciée N° 2 sur le point moteur.

2° Déplacements successifs de la grande électrode sans déplacement de la petite électrode. La grande électrode est portée successivement sur la paume de la main, puis sur la moitié cubitale de la face dorsale de la même main.

Lorsqu'on fait l'expérience en mettant l'électrode sur le dos de la main, il faut prendre quelques précautions. En effet, si l'électrode appuie sur les tendons, elle en gêne le mouvement et les seuils deviennent incertains. C'est pourquoi il faut mettre l'électrode un peu latéralement, de façon à laisser libre le jeu du tendon extenseur du doigt qu'on étudie.

L'expérience a été faite sur l'extenseur propre de l'index à droite et sur l'extenseur commun (faisceau du 4^e doigt) à droite. Il n'y a aucun changement dans la valeur de la chronaxie ni d'un point moteur, ni de l'autre :

1. — Extenseur propre de l'index droit.

SITUATION DE LA GRANDE ÉLECTRODE	POINT MOTEUR SUPÉRIEUR						POINT MOTEUR INFÉRIEUR					
	RHÉOBASE				CHRONAXIE		RHÉOBASE				CHRONAXIE	
	1 ^{re} MESURE		VÉRIFICAT.				1 ^{re} MESURE		VÉRIFICAT.			
	VOL.	INT.	VOL.	INT.	C τ	τ	VOL.	INT.	VOL.	INT.	C τ	τ
	v.	mA	v.	mA	mf		v.	mA	v.	mA	mf	σ
1° Sternum	65	2,4	65	2,45	0,16	0,64	42	1,3			0,04	0,16
2° Paume de la main .	70	2,2	69	2,2	0,16	0,64	47	1,2			0,03	0,12
3° Dos de la main. . .	65	2,25	62	2,15	0,17	0,68	33	0,65	34	0,7	0,03	0,12

II. — Extenseur commun gauche (Faisceau du quatrième doigt).

SITUATION DE LA GRANDE ÉLECTRODE	POINT MOTEUR SUPÉRIEUR						POINT MOTEUR INFÉRIEUR					
	RHÉOBASE				CHRONAXIE		RHÉOBASE				CHRONAXIE	
	1 ^{re} MESURE		VÉRIFICAT.				1 ^{re} MESURE		VÉRIFICAT.			
	VOL.	INT.	VOL.	INT.	C _τ	τ	VOL.	INT.	VOL.	INT.	C _τ	τ
	v.	mA	v.	mA	mf	σ	v.	mA	v.	mA	mf	σ
1° Sternum	70	2,5			0,43	0,52	52	1,6			0,08	0,32
2° Paume de la main .	65	2			0,12	0,48	46	1,1	48	1,2	0,09	0,36
3° Dos de la main, un peu latéralement.	53	1,7	52	1,7	0,17	0,68	52	1,6			0,07	0,28

2° **Expériences en méthode bipolaire.** — Les changements de situation de la grande électrode, rapprochée de la petite autant qu'il était possible, sans mettre les deux électrodes sur le muscle, n'ayant produit aucune modification des chronaxies en méthode monopolaire, nous avons pensé qu'en méthode bipolaire nous pourrions rapprocher encore davantage les électrodes l'une de l'autre. Nous avons pris deux électrodes égales et petites (tampon N° 2) et nous avons fait varier tantôt le sens du courant, tantôt l'écart des électrodes, mais en laissant toujours l'électrode négative sur le point moteur étudié. Voici ces expériences.

Expériences du 26 avril et du 3 mai 1922. — 1° Détermination de la chronaxie des deux points moteurs en méthode monopolaire.

2° Détermination de la chronaxie en méthode bipolaire. — Courant ascendant et descendant.

Distances des électrodes mesurées entre les centres des électrodes. — Electrodes égales. — Tampons N° 2.

On peut rapprocher les deux électrodes instrumentales jusqu'à 2 cm l'une de l'autre, sans modifier en quoi que ce soit la chronaxie, ni du point moteur supérieur ni du point moteur inférieur, et cela aussi bien en courant ascendant qu'en courant descendant.

Il a été difficile de rapprocher davantage les électrodes. En effet, les électrodes n° 2 ayant un diamètre d'environ 1 cm 2, lorsque les centres sont à 2 cm l'un de l'autre, les bords des électrodes sont à 0 cm 8 : on ne peut pas les approcher davantage, sans risquer de les faire se toucher pendant l'expérience au moindre mouvement.

Les expériences ont été faites sur l'extenseur propre de l'index à droite et à gauche :

DISPOSITION DES ÉLECTRODES	POINT MOTEUR SUPÉRIEUR						POINT MOTEUR INFÉRIEUR					
	RHÉOBASE				CHRONAXIE		RHÉOBASE				CHRONAXIE	
	1 ^{re} MESURE		VÉRIFICAT.				1 ^{re} MESURE		VÉRIFICAT.			
	volt.	INT.	volt.	INT.	C τ	τ	volt.	INT.	volt.	INT.	C τ	τ
	v.	mA	v.	mA	mf	σ	v.	mA	v.	mA	mf	σ
I. Extenseur propre de l'index droit.												
1 ^{re} Méthode monopolaire	54	2,1	53	2,1	0,11	0,44	36	0,9	33	0,85	0,02	0,08
2 ^{re} Méthode bipolaire.												
a) Courant descendant.												
Distance des centres												
des électrodes : 25 cm.							27	0,45	26	0,45	0,02	0,08
— 2 cm							46	1,45			0,02	0,08
b) Courant ascendant.												
Distance des électrod. :												
8 cm.							27	0,5	27	0,5	0,02	0,08
— 3 cm.	56	2,3	56	2,3	0,12	0,48	30	0,6	28	0,5	0,02	0,08
— 1 cm 7							37	1	37	1	0,02	0,08
II. Extenseur propre de l'index gauche.												
1 ^{re} Méthode monopolaire	67	2,7	68	2,8	0,17	0,68	40	1,1	38	1,1	0,05	0,20
2 ^{re} Méthode bipolaire.												
a) Courant descendant.												
Distance des électrod. :												
2 cm.	92	4,2	94	4,3	0,15	0,60	44	1,1	43	1,1	0,05	0,20
b) Courant ascendant.												
Distance des électrod. :												
4 cm 7							44	1,1	43	1,1	0,05	0,20
— 2 cm.	53	1,9			0,16	0,64						

Dans ces expériences, le déplacement de l'électrode positive entraîne le déplacement de l'anode physiologique, lorsque la cathode reste à la même place. Or, dans tous les changements de situation que nous avons faits, nous n'avons pas pu diminuer ni augmenter la chronaxie prise sur le point moteur inférieur. Il est donc bien difficile d'attribuer à la situation relative des deux électrodes physiologiques la différence de chronaxie observée quand la cathode est sur le point moteur supérieur ou sur le point moteur inférieur.

Ces expériences lèvent le dernier doute qui pourrait rester sur l'existence réelle des deux chronaxies des extenseurs.

Elles montrent que, comme je le supposais, la distance des électrodes n'intervient pas dans l'excitation percutanée en méthode monopolaire. Toutes les différences de chronaxie que j'ai observées entre les différents muscles se trouvent, du même coup, validées.

Nous voyons donc des muscles avoir indubitablement deux chronaxies : ce fait a évidemment une portée très grande, car il nous

montre qu'un muscle peut, en réalité, être composé de deux muscles de valeur fonctionnelle différente : ce n'est plus de la chronaxie du muscle qu'il s'agit, c'est de la chronaxie de deux groupes de fibres ayant chacune son innervation personnelle.

Ces expériences éclairent d'anciennes expériences de Keith Lucas qui pensait démontrer, dans un même muscle, l'existence de fibres de deux chronaxies différentes. Mais la question n'avait pas été complètement résolue. Je pense que mes recherches apportent une contribution sérieuse à cette importante question.

Le fait que les extenseurs possèdent deux points moteurs et deux chronaxies complète ceux que j'ai étudiés au début de ce chapitre, mais n'en infirme aucun, au contraire.

Ce fait nouveau m'a fourni un moyen de reprendre l'étude de l'excitation longitudinale d'une façon générale.

D.^o — Excitation longitudinale des muscles à double point moteur
et à double chronaxie. —

Interprétation générale de l'excitation longitudinale.

Nous avons vu que, sur les points moteurs, la chronaxie est la même quand on la mesure avec la cathode diffuse (pôle instrumental positif) et quand on la mesure avec la cathode différenciée (pôle instrumental négatif). En excitation longitudinale, dans quelques expériences encore peu nombreuses sur les muscles n'ayant qu'une chronaxie et qu'un point moteur, j'ai vu que la chronaxie mesurée avec l'un ou l'autre pôle est la même.

Au contraire, lorsqu'on fait la même expérience sur les extenseurs, c'est-à-dire sur des muscles à double chronaxie et double point moteur, on trouve l'une ou l'autre des chronaxies, suivant que la petite électrode est positive ou négative. On trouve en somme, sans déplacer l'électrode, la chronaxie du point moteur supérieur avec la petite électrode négative, et la chronaxie du point moteur inférieur avec la petite électrode positive.

J'ai répété cette expérience sur plusieurs sujets et pour différents extenseurs : elle a toujours donné le même résultat. En voici un exemple :

Expérience du 19 mai 1922. M. L...

Extenseur propre de l'index gauche.

Excitation longitudinale.

Cette excitation est difficile sur les sujets normaux, pour tous les muscles. Elle ne s'obtient, en général, que pour une position déterminée de l'électrode.

Pour l'extenseur propre de l'index, l'électrode différenciée doit être placée à peu près sur l'apophyse styloïde du cubitus.

Grande électrode sur le sternum.

Electrode différenciée n° 2.

SIGNE DE LA PETITE ÉLECTRODE	RHEOBASE				CHRONAXIE	
	PRÉVÈRE MESURE		VÉRIFICATION		C τ	τ
	V	I	V	I		
	— . . + . .	80 v. 85	4 mA,5 5 mA	80 v. 4 mA	0 mf,12 0 mf,05	0 σ ,48 0 σ ,20

Avec l'électrode négative on trouve donc la grande chronaxie, celle du point moteur supérieur; avec l'électrode positive, on trouve la petite chronaxie, celle du point moteur inférieur.

Dans ces expériences, et le fait est assez constant, les rhéobases avec les deux pôles sont très voisines l'une de l'autre, et, très facilement, on observe l'inversion.

Cette expérience permet de pousser plus loin que je ne l'ai fait jusqu'ici l'interprétation de l'excitation longitudinale à l'état normal.

Nous savons que l'excitation ne peut prendre naissance qu'au niveau d'une cathode. Lorsqu'on renverse le courant, sans modifier la situation des électrodes expérimentales, on intervertit la position de la cathode et de l'anode physiologiques, on change le lieu où l'excitation prend naissance.

Où se forment donc les cathodes diffuses suivant que, en excitation longitudinale, la petite électrode est positive ou négative? La valeur de la chronaxie trouvée avec les deux pôles nous permet de le dire. Pour l'électrode instrumentale négative, elle se forme dans les fibres de grande chronaxie et, pour l'électrode positive, dans les fibres de petite chronaxie.

Si maintenant nous rapprochons ces faits des résultats de mes expériences sur le point moteur, nous pouvons préciser davantage. Nous avons vu qu'en disséquant les fibres nerveuses à l'intérieur du muscle on obtient l'excitation la meilleure lorsque l'électrode rencontre les points d'épanouissement des différentes branches nerveuses. Quelle que soit la situation de l'électrode, c'est donc toujours, pour les courants faibles, à l'un de ces épanouissements que l'excitation se produit.

Il est donc très vraisemblable de supposer que, dans l'expérience avec les deux pôles, les cathodes diffuses sont localisées aux points d'épanouissement des branches nerveuses.

La cathode diffuse doit se former au niveau de l'épanouissement qui correspond au point moteur inférieur, quand la petite électrode est positive, et au point d'épanouissement correspondant au

point moteur supérieur, quand elle est négative, puisque les deux électrodes donnent respectivement la chronaxie de ces deux points moteurs.

On peut donc conclure, avec beaucoup de vraisemblance, que, sur les muscles normaux, au moins pour les intensités liminaires ou voisines du seuil, on ne produit jamais que l'excitation des nerfs intra-musculaires. Ces expériences apportent un argument sérieux en faveur de l'opinion que j'ai émise, au début de ce travail, que toutes les excitations du muscle normal, qu'elles portent sur le point moteur ou en dehors du point moteur, ne sont jamais que des excitations nerveuses.

E. — Signification physiologique de la double chronaxie des extenseurs.

— Étude d'ensemble des rapports de la physiologie des muscles du membre supérieur avec la chronaxie.

Maintenant que nous sommes sûrs que les extenseurs à l'avant-bras ont bien deux points moteurs et deux chronaxies, cherchons à interpréter la signification physiologique de ce fait.

Nous avons déjà vu que tous les muscles synergiques ont la même chronaxie. Nous avons vu que, dans le groupe des extenseurs, au bras comme à l'avant-bras, certains muscles ont pour fonction pour ainsi dire exclusive, comme les radiaux, d'assurer par leur contraction synergique, la fonction de flexion : ces muscles n'ont qu'une chronaxie, *égale à celle des fléchisseurs*.

Mais, la nécessité, dans l'accomplissement de la flexion, d'une contraction synergique des antagonistes n'est pas localisée à ces seuls muscles. Duchenne de Boulogne a montré depuis longtemps que toute contraction d'un fléchisseur s'accompagne d'une contraction légère de l'extenseur correspondant. On peut donc dire que ce que j'ai dit, de l'ensemble du groupe des extenseurs, s'applique à chaque extenseur en particulier : tous les extenseurs ont une double fonction : 1^o l'extension proprement dite ; 2^o le frein de la flexion.

La première fonction s'exerce indépendamment des fléchisseurs et la deuxième s'exerce en association étroite avec eux. Au point de vue de la première fonction, on peut dire que les extenseurs sont les *antagonistes* des fléchisseurs ; mais, au point de vue de la deuxième, ils sont *synergiques* des fléchisseurs.

Cette double fonction divise donc, en réalité, chaque extenseur en deux muscles, constitués chacun par une partie des fibres du muscle total.

Mes expériences démontrent que chacun de ces groupes de fibres a une chronaxie propre.

Les *fibres antagonistes* des fléchisseurs ont la *chronaxie double* de

celle de ces muscles : les *fibres synergiques* des fléchisseurs ont la *chronaxie* égale à celle de ces muscles.

Tout ce que j'ai dit reste donc vrai et même se généralise. Il suffit simplement de considérer les *groupes de fibres musculaires* au lieu de considérer le muscle en totalité, quand il s'agit de muscles à double chronaxie.

Nous pouvons donc dire, d'une manière générale :

Dans un segment de membre, toutes les fibres musculaires synergiques d'un même mouvement ont la même chronaxie.

Ce n'est plus de la physiologie d'organes, c'est de la physiologie de tissus, de *l'histophysiologie* que nous faisons en électrophysiologie, comme je l'ai fait remarquer.

Telle est la loi très générale à laquelle m'a conduit l'étude de la chronaxie des muscles du membre supérieur.

La classification des muscles, ou mieux des groupes de fibres musculaires, est donc bien exclusivement fonctionnelle. La découverte de la double chronaxie des extenseurs nous éloigne encore plus de la classification radiculaire, qui disparaît complètement au fur et à mesure qu'on entre davantage au fond des choses.

En dernière analyse, la classification des muscles du membre supérieur en 4 groupes persiste. Les deux premiers groupes sont les mêmes. Mais les muscles du 4^e groupe (extenseurs) se divisent en deux groupes de fibres : les fibres innervées par les points moteurs inférieurs font partie du 5^e groupe ; les fibres innervées par les points moteurs supérieurs constituent le 4^e groupe.

Le 4^e groupe renferme donc toujours les mêmes muscles, mais chaque muscle n'y entre que par une partie de ses fibres.

Le 5^e groupe s'augmente de la partie des fibres des muscles du 4^e groupe qui ont la même chronaxie que les fléchisseurs.

Cette classification fonctionnelle des muscles du membre supérieur est synthétisée dans le tableau VI, voir page 196), qui n'est que le tableau V complété par la division en deux parties de chacun des muscles du 4^e groupe. Seul le court supinateur est resté indivis parce que je n'ai pas pu savoir, pour les raisons que j'ai dites, s'il a ou non deux points moteurs, comme il est vraisemblable.

F. — Résumé.

En résumé, de l'étude de la chronaxie des nerfs moteurs et des muscles du membre supérieur, on peut tirer les quelques lois suivantes :

1^o A l'état normal, on ne peut connaître avec certitude que la chronaxie nerveuse. La chronaxie d'un système nerf-muscle est la même au point moteur du muscle que sur le trajet du nerf depuis la

TABLEAU VI

Classification fonctionnelle des muscles et faisceaux musculaires des membres supérieurs par la chronaxie.

ORIGINES RADICULAIRES	MUSCLES	CHRONAXIES	GROUPE	FONCTIONS
C ⁵ C ⁶ . . .	Deltoïde	0 σ ,08	1 ^{er} . . .	Flexion de l'avant-bras et du bras. + 1 synergique (vaste interne)
	Biceps	à		
	Brachial antérieur	0 σ ,16		
	Long supinateur			
C ⁶ C ⁷ . . .	Vaste interne du triceps		2 ^e . . .	Extension de l'avant-bras.
	Vaste externe du triceps	0 σ ,16 à		
	Longue portion du triceps	0 σ ,32		
	Radiaux			
C ⁸ D ¹ . . .	Palmaires		3 ^e . . .	Flexion de la main et des doigts et pronation + synergiques de la flexion (radiaux). + moitié des fibres des extenseurs.
	Cubital antérieur			
	Fléchisseurs superficiels et profonds			
	Long fléchisseur du pouce			
	Pronateurs			
	Eminence thénar			
	Adducteur du pouce	0 σ ,20		
	Eminence hypothénar	à		
C ⁷	Lombriques et interosseux	0 σ ,36	4 ^e . . .	Extension de la main et des doigts et supination.
	Fibres innervées par les points moteurs inférieurs.			
	Cubital postérieur			
	Extenseurs propres et communs des doigts et du pouce			
	Long abducteur du pouce			
	Fibres innervées par les points moteurs supérieurs.			
	Cubital postérieur			
	Extenseurs propres et communs des doigts et du pouce	0 σ ,44		
	Long abducteur du pouce	à		
	Court supinateur	0 σ ,72		

formation du plexus d'origine des nerfs mixtes jusqu'à sa terminaison.

2° Dans un même segment de membre, tous les muscles doués de la même fonction ont la même chronaxie.

3° Les fléchisseurs ont une chronaxie plus petite, que les extenseurs dans le rapport de 1 à 2.

4° Dans une même fonction, les muscles du segment distal ont une chronaxie plus grande que ceux du segment proximal, dans un rapport qui dépasse légèrement celui de 1 à 2.

5° La chronaxie divise les muscles extenseurs en deux groupes : *a*) les extenseurs proprement dits, qui ont la chronaxie double de celle des fléchisseurs; *b*) les synergiques de la flexion qui ont la même chronaxie que les fléchisseurs.

6° A l'avant-bras, la chronaxie divise en outre chaque muscle extenseur en deux parties qui ont chacune leur point moteur : *a*) groupe de fibres douées de la fonction d'extension proprement dite; ces fibres ont la chronaxie double des fléchisseurs et sont innervées par le point moteur supérieur; *b*) groupe de fibres douées de la fonction de se contracter synergiquement avec les fléchisseurs, pour jouer le rôle de frein de la flexion; ces fibres ont la même chronaxie que les fléchisseurs et sont innervées par le point moteur inférieur.

7° Toutes les lois précédentes peuvent se condenser en une seule :

Dans un segment de membre, tous les muscles ou groupes de fibres musculaires synergiques d'un même mouvement ont la même chronaxie.

- II

NERFS SENSITIFS

Ayant dégagé les lois de la distribution de la chronaxie des nerfs moteurs et des muscles du membre supérieur, et montré leur signification physiologique, j'ai cherché à mesurer la chronaxie des nerfs sensitifs.

J'ai employé la technique dont j'ai donné les détails précédemment.

Avec A. Radovici¹ j'ai étudié la chronaxie des nerfs sensitifs du membre supérieur.

Pour les raisons que j'ai indiquées, nous n'avons pu mesurer que la chronaxie des troncs de ces nerfs.

Il nous a fallu commencer par établir la topographie de leurs points d'élection.

Nous avons cherché les points d'élection des troncs nerveux sensitifs principaux de façon à avoir, pour ainsi dire, un échantillon de la chronaxie sensitive de chaque territoire d'innervation cutanée.

Ces points d'élection sont figurés sur les schémas de la figure 22. Les cercles indiquent la situation qu'il faut donner à l'électrode. Les flèches montrent la direction que prennent les fourmillements qui naissent au siège de l'excitation et se propagent tout le long du trajet du nerf jusqu'à la zone d'innervation cutanée. Ce fait, qui nous a

été très utile, avait déjà été signalé par Duchenne de Boulogne¹ qui décrit ainsi le phénomène : « La faradisation d'un nerf cutané produit une sensation qui se propage dans le trajet du nerf au delà du point excité et jusque dans ses dernières ramifications où elle produit des fourmillements et des picotements, proportionnellement au degré d'intensité du courant et de rapidité de ses intermittences ».

Je ne connaissais pas cette description de Duchenne de Boulogne lorsque j'ai fait mes recherches et que j'ai donné la description du

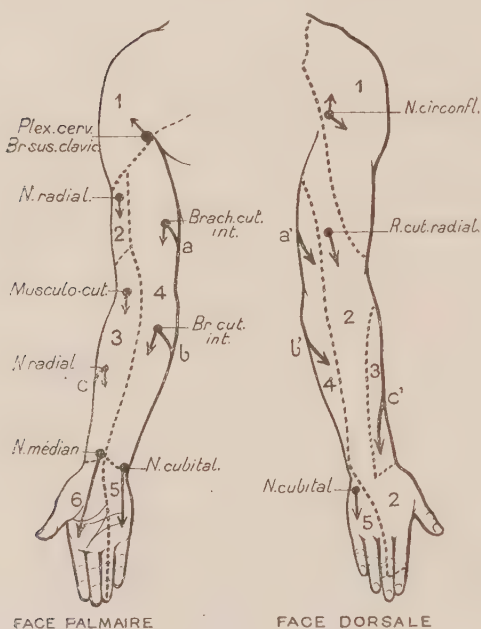


FIG. 22. — POINTS D'EXCITATION DES TRONCS NERVEUX SENSITIFS.

Les points indiquent les points d'excitation des troncs nerveux sensitifs purs ou mixtes. — Les flèches indiquent la direction des fourmillements. — Les lignes pointillées délimitent les territoires d'innervation sensitive périphérique (d'après Poirier).

1. Nerf circonflexe et branche sus-claviculaire du plexus cervical. — 2. Nerf radial. — 3. Nerf musculo-cutané. — 4. Nerf brachial cutané interne. — 5. Nerf cubital. — 6. Nerf médian.

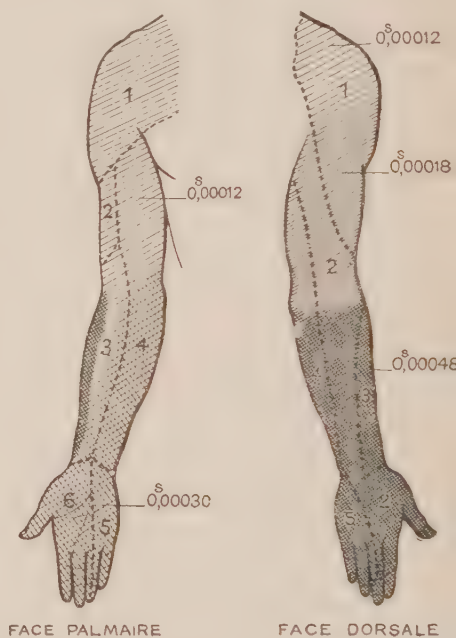


FIG. 25. — TOPOGRAPHIE DE LA CHRONAXIE SENSITIVE.

phénomène à propos de la technique de mesure de la chronaxie des nerfs sensitifs.

Nous avons ainsi déterminé les points d'élection des nerfs sensitifs, purs ou mixtes suivants :

Branche sus-claviculaire du plexus cervical; Nerf circonflexe; Nerf radial, en divers points de son trajet et sur ses branches; Nerf musculo-cutané; Nerf brachial cutané interne; Nerf cubital; Nerf médian.

1. DUCHENNE DE BOULOGNE. *De l'électrisation localisée*, 2^e édition, p. 43.

Il est facile de voir sur le schéma que, avec l'étude de ces troncs, nous avons fait l'étude de tous les territoires d'innervation périphérique du membre supérieur, qui sont représentés en pointillé sur la figure, d'après le traité d'anatomie de Poirier.

Après avoir déterminé la situation de ces points d'élection, nous y avons mesuré la chronaxie, le plus souvent avec les condensateurs et quelquefois avec le pistolet de Weiss. Les résultats ont toujours concordé, comme j'en ai donné des exemples en étudiant la technique.

Nous avons toujours trouvé la même chronaxie pour les mêmes filets nerveux tout le long du trajet d'un nerf, par exemple en mesurant la chronaxie sensitive sur le médian par excitation du tronc du nerf au bras, au coude, à l'avant-bras ou au poignet. Sur les nerfs au poignet, nous n'avons jamais rencontré les difficultés que j'ai étudiées au point de vue moteur. J'en ai proposé une interprétation.

Bref, la précision de la mesure de la chronaxie sensitive atteint ou même dépasse celle de la mesure de la chronaxie motrice, ainsi qu'on pourra en juger par les limites plus étroites dans lesquelles varie la chronaxie d'un nerf déterminé.

Nous avons toujours employé la méthode monopolaire avec l'électrode n° 2 (1 cm, 2 de diamètre environ) comme électrode différenciée.

Nous avons toujours vérifié la rhéobase après la mesure de la chronaxie.

Nous avons fait les mesures sur nous-même, puis sur des sujets normaux quelconques, pris au hasard des consultations, appartenant, par conséquent, à toutes les catégories sociales.

Contrairement à ce qu'on aurait pu supposer, les seuils sensitifs sont aussi nets chez les sujets sans culture que chez les sujets cultivés.

On peut même dire que les chronaxies se tiennent de plus près au point de vue sensitif qu'au point de vue moteur, aussi bien dans plusieurs expériences sur le même sujet que d'un sujet à l'autre.

Les valeurs des chronaxies sensitives se superposent exactement à celles des chronaxies motrices en ce sens que la chronaxie classe les nerfs sensitifs, ou plutôt les filets nerveux sensitifs du membre supérieur, en quatre groupes.

Chaque groupe est déterminé, comme pour les nerfs moteurs et les muscles, par la valeur maxima et la valeur minima trouvées, pour chaque nerf, sur différents sujets.

Or, les valeurs minima et maxima de chacun des quatre groupes sont encadrées par les valeurs maxima et minima des quatre groupes de muscles.

Si nous étudions la topographie de la chronaxie sensitive, nous voyons que la distribution n'en est ni périphérique, ni radiculaire. Un même nerf ou une même racine contient des fibres de chronaxies différentes; une même chronaxie appartient à plusieurs nerfs et à plusieurs racines.

Ainsi, le nerf cubital contient à la fois des fibres dont la chronaxie est $0\sigma,20$ à $0\sigma,32$, destinées à la face palmaire de l'éminence hypothénar, du 5^e doigt et de la moitié interne du 4^e doigt, et des filets dont la chronaxie est $0\sigma,48$ à $0\sigma,52$ destinés à la face dorsale de la moitié interne de la main et des doigts. Voilà un nerf et ses racines qui contiennent des fibres de deux chronaxies différentes.

Inversement, la chronaxie de $0\sigma,48$ à $0\sigma,52$ appartient à la fois à des fibres du cubital, du radial et du brachial cutané interne.

En voilà suffisamment pour faire comprendre la distribution de la chronaxie sensitive qui ressort d'ailleurs nettement des schémas de la fig. 25 et du tableau VII qu'on trouvera plus loin.

Si la chronaxie sensitive ne se distribue ni radicalement, ni périphériquement, comment se distribue-t-elle?

En dressant pour les nerfs sensitifs, comme je l'ai fait pour les muscles, le tableau de groupement par la chronaxie, on voit que la chronaxie groupe les nerfs sensitifs exclusivement suivant la région innervée.

La distribution de la chronaxie sensitive est régionale. La chronaxie sensitive divise la surface cutanée en quatre régions qui sont :

1^o L'épaule et la face antérieure du bras.

2^o La face postérieure du bras.

3^o La face antéro-interne de l'avant-bras et la paume de la main.

4^o La face postéro-externe de l'avant-bras et la face dorsale de la main.

La chronaxie de la 1^{re} région est de $0\sigma,12$ à $0\sigma,16$.

La chronaxie de la 2^e région est de $0\sigma,16$ à $0\sigma,20$.

La chronaxie de la 3^e région est de $0\sigma,24$ à $0\sigma,32$.

La chronaxie de la 4^e région est de $0\sigma,48$ à $0\sigma,52$.

Or, chacune de ces régions représente la surface cutanée recouvrant chacun des quatre groupes musculaires du membre supérieur.

Dans chacune de ces régions, la chronaxie sensitive est égale à la chronaxie motrice, puisque ses limites de variation sont plus rapprochées que celles des muscles et que les valeurs extrêmes de la chronaxie sensitive sont encadrées par les valeurs extrêmes de la chronaxie des muscles correspondants.

Ainsi, la chronaxie des filets nerveux sensitifs de la peau de la face postérieure du bras est comprise entre $0\sigma,16$ et $0\sigma,20$. Cette région cutanée recouvre le triceps dont la longue portion et le vaste externe ont une chronaxie comprise entre $0\sigma,16$ et $0\sigma,32$. De même, la chronaxie des filets nerveux sensitifs innervant la peau de la face antéro-interne de l'avant-bras et la paume de la main est comprise entre $0\sigma,24$ et $0\sigma,32$: cette région cutanée recouvre les muscles innervés par le médian et le cubital, c'est à-dire le troisième groupe qui a une chronaxie comprise entre $0\sigma,20$ et $0\sigma,36$.

A la face postérieure de l'avant-bras, c'est à la chronaxie des points moteurs supérieurs que la chronaxie sensitive est égale.

En résumé, la distribution de la chronaxie sensitive est *régionale* : dans chaque région, *elle est égale à celle des muscles sous-jacents*.

La distribution de la chronaxie sensitive est donc réglée par les fonctions musculaires, en sorte qu'on revient toujours à cette loi générale : la chronaxie a une distribution fonctionnelle.

Cette égalité de la chronaxie motrice et sensitive par régions nous ramènerait donc peut-être à la théorie métamérique de Brissaud, au moins pour certains faits.

Mieux qu'une longue description, le schéma de la figure 25 et le tableau suivant montrent les détails de cette distribution de la chronaxie sensitive du membre supérieur.

En regard des chronaxies sensitives, j'ai rappelé les chronaxies des muscles sous-jacents à chaque territoire cutané.

TABLEAU VII

**Distribution régionale des chronaxies sensitives
des membres supérieurs.**

ORIGINES RADICULAIRES	NERFS SENSITIFS	GROUPE	CHRONAXIE	TERRITOIRES CUTANÉS D'INNERVATION	CHRONAXIE DES MUSCLES SOUS-JACENTS
C ⁴ C ⁵ C ⁶ .	Rameau sensitif du plexus cervical. . . .	N° 1.	0 σ ,12 à 0 σ ,16	Épaule et face antérieure du bras.	0 σ ,08 à 0 σ ,16
	Rameau antérieur du circonflexe.				
	Branches brachiale du radial.				
C ⁶ C ⁷ .	Nerf circonflexe. . . .	N° 2.	0 σ ,16 à 0 σ ,20	Face postérieure du bras.	0 σ ,16 à 0 σ ,32
	Rameau cutané externe du radial.				
	Nerf brachial cutané interne.				
C ⁷ C ⁸ D ¹ .	Nerf musculo-cutané .	N° 3.	0 σ ,24 à 0 σ ,32	Face antéro- interne de l'avant-bras et de la paume de la main.	0 σ ,20 à 0 σ ,36
	Nerf médian.				
	Nerf cubital. Branche antérieure.				
C ⁷ C ⁸ D ¹ .	Nerf brachial cutané interne.	N° 4.	0 σ ,48 à 0 σ ,52	Face postéro- externe de l'avant-bras et de la face dorsale de la main.	0 σ ,44 à 0 σ ,72
	Nerf radial à l'avant-bras.				
	Nerf cubital. Branche postérieure.				

III

CONDITIONS DE QUELQUES RÉFLEXES DU MEMBRE SUPÉRIEUR

L'étude des chronaxies motrices et sensibles du membre supérieur montre donc le lien étroit qui unit, par l'intermédiaire du système nerveux, les différentes parties qui composent une région, je veux dire les téguments, les muscles et, vraisemblablement, les os. A l'appui de cela, nous avons l'étude de deux réflexes qui sont nettement en rapport avec l'égalité des chronaxies sensibles et motrices : ce sont le réflexe palmo-mentonnier de Marinesco et A. Radovici et le réflexe radio-périosté.

1° **Réflexe radio-périosté.** — J'ai trouvé, sur la région de la peau recouvrant la face interne du long supinateur, à l'union du muscle et du tendon, un point dont l'excitation détermine une sensation profonde de fourmillements se propageant le long du tendon et se terminant par une petite sensation de choc au niveau de la styloïde radiale; il s'agit donc du filet nerveux sensitif innervant l'insertion du tendon du long supinateur à la styloïde radiale. La chronaxie de ce filet nerveux est de 0,12, c'est-à-dire la même que celle du long supinateur et du biceps, qui se contractent dans le réflexe dit « radio-périosté », qu'on déclenche justement par la percussion de la styloïde radiale.

2° **Réflexe palmo-mentonnier.** — Le réflexe palmo-mentonnier, décrit par G. Marinesco et A. Radovici¹ met encore en jeu des muscles de même chronaxie que celle des nerfs sensitifs de la région excitée; l'excitation de l'éminence thénar avec une épingle fait contracter les muscles du menton et même, souvent, les muscles de l'éminence hypothénar. Or, les muscles innervés par le facial inférieur² et par le médian et le cubital ont la même chronaxie que les nerfs sensitifs de la face palmaire de la main. Ces résultats concordent avec ceux de L. Lopicque qui a montré, par l'étude du réflexe chez la grenouille, que le nerf sensitif a la même chronaxie que le nerf moteur correspondant. Mais ils en diffèrent en ce que, pour provoquer le réflexe, L. Lopicque a dû faire sur le nerf sensitif des excitations itératives, tandis que nous provoquons la sensation par une excitation isolée.

En résumé, il y a, au membre supérieur, quatre groupes de chronaxies sensibles qui sont égales aux chronaxies motrices, pour une même région. La classification des nerfs sensitifs par la chronaxie

1. G. MARINESCO et A. RADOVICI. *Revue neurologique*, n° 3, mars 1920.

2. G. BOURGUIGNON et A. TUPA, *Soc. de Biologie*, 26 novembre 1921.

est associée à la classification fonctionnelle des muscles et des nerfs moteurs et elle rend compte en partie des réflexes, ou, tout au moins, de certains d'entre eux.

Le système nerveux nous apparaît comme un vaste système de résonances. Les variations pathologiques et expérimentales de la chronaxie qui font l'objet de la troisième partie de ce travail en apporteront une nouvelle preuve.

CHAPITRE III

CHRONAXIE NORMALE DES MEMBRES INFÉRIEURS DE LA FACE, DU COU, DE LA CEINTURE SCAPULAIRE ET DU TRONC

Les lois que je viens de dégager de l'étude de la chronaxie motrice et sensitive des membres supérieurs sont des lois générales, comme j'ai pu m'en rendre compte par l'étude des muscles et de quelques nerfs sensitifs des autres parties du corps.

Pour établir la chronaxie de ces muscles et nerfs, j'ai répété, sur chaque région, les mêmes expériences que sur le membre supérieur. Il est donc inutile de reprendre en détail cette démonstration à propos de chaque partie du corps. Il nous suffira d'exposer les résultats et de dresser le tableau de la classification des muscles de chaque région, par la chronaxie, excepté pour certains cas particuliers.

I

MEMBRES INFÉRIEURS

A. — Muscles et nerfs moteurs.

1° **Constitution des groupes fonctionnels par la chronaxie**¹. — Aux membres inférieurs, on retrouve encore la classification fonctionnelle des muscles par la chronaxie; mais pour la comparaison avec les membres supérieurs, il est nécessaire de remplacer les termes de « flexion » et « extension » par ceux de « mouvements en avant » et « mouvements en arrière » qui désignent le sens dans lequel le segment de membre considéré se déplace par rapport au plan frontal.

En effet, aux membres supérieurs, quel que soit le segment consi-

1. G. BOURGUIGNON. *C. R. Acad. des Sciences*, t. 164, p. 866. — *Soc. fr. d'Électrothérapie et Radiologie*, janvier 1922, p. 16.

déré, la flexion porte toujours le segment qui fléchit en avant et l'extension porte le segment qui s'étend, en arrière de ce plan.

Aux membres inférieurs, par suite du renversement de l'orientation du genou par rapport à celle du coude, la flexion déplace certains segments dans le même sens qu'aux membres supérieurs et d'autres segments en sens inverse.

Ainsi, la flexion de la cuisse sur le bassin porte le fémur en avant, comme la flexion du bras porte l'humérus en avant. Mais, la flexion de la jambe sur la cuisse porte la jambe en arrière du plan frontal, alors que la flexion de l'avant-bras le porte en avant.

Flexion et extension sont donc homologues pour la cuisse et le bras. Mais, la flexion de la jambe correspond à l'extension de l'avant-bras. En ne considérant pas les mouvements par rapport au pli de flexion de l'articulation, mais par rapport au sens dans lequel se déplace le segment de membre dans le plan antéro-postérieur par rapport au plan frontal, les mouvements deviennent homologues.

Dans ces conditions, on voit qu'aux membres inférieurs comme aux membres supérieurs, les muscles qui portent un segment de membre en avant ont une chronaxie plus petite que ceux qui le portent en arrière. On peut donc dire, d'une façon générale :

Les muscles antérieurs ont une chronaxie plus petite que les muscles postérieurs. Le fait se vérifie à la cuisse, à la jambe et au pied.

Nous avons vu qu'aux membres supérieurs, il y a quatre groupes de chronaxies mais qu'il n'y en a que trois qui soient très nettement distincts. La deuxième chronaxie (2^e groupe. Extenseurs au bras) est très voisine de la troisième (3^e groupe. Fléchisseurs à l'avant-bras) et chevauche sur elle.

Aux membres inférieurs, on trouve de même trois groupes de chronaxies très distinctes et sensiblement égales aux chronaxies correspondantes du membre supérieur.

Pour la dernière, elle fait complètement défaut.

Il est probable que la disparition totale de la deuxième chronaxie est en rapport avec la différenciation moindre des fonctions du membre inférieur, comparées aux fonctions beaucoup plus délicates du membre supérieur.

On trouve donc, aux membres inférieurs, trois groupes de chronaxies qui ont pour valeurs respectives 0,40 à 0,46, 0,24 à 0,56 et 0,44 à 0,72.

Les limites supérieures de variations d'un sujet à l'autre, et sur un même sujet, sont les mêmes qu'au membre supérieur mais les limites inférieures sont un peu plus élevées. Il y a donc une tendance des muscles du membre inférieur à avoir une chronaxie très légèrement plus grande que les muscles correspondants du membre supérieur; mais il faut tenir compte, dans l'appréciation de ce fait, de la

difficulté plus grande des mesures sur le membre inférieur que sur le membre supérieur, à cause du volume plus grand des muscles et de leur séparation souvent moins nette. En fin de compte, cette petite différence est douteuse et il n'est pas impossible qu'elle n'existe pas en réalité. Elle est en tout cas si petite qu'on peut la négliger et on peut dire que les valeurs des trois groupes de chronaxie du membre inférieur sont sensiblement les mêmes que celles des groupes correspondant aux membres supérieurs.

La chronaxie de $0\sigma,10$ à $0\sigma,16$ est celle du premier groupe qui comprend les muscles antéro-internes de la cuisse. Ils sont fléchisseurs et adducteurs de la cuisse sur le bassin et extenseurs de la cuisse, (mouvements d'arrière en avant). Il s'y joint le jambier antérieur.

La chronaxie de $0\sigma,24$ à $0\sigma,36$ est celle du deuxième groupe qui est constitué par les muscles innervés par le sciatique poplité externe, c'est-à-dire les extenseurs des orteils et abducteurs du pied, (mouvements d'arrière en avant), moins le jambier antérieur.

La chronaxie de $0\sigma,44$ à $0\sigma,72$ est celle du troisième groupe, formé par les muscles postérieurs de la jambe, auxquels se joignent les muscles postérieurs de la cuisse, c'est-à-dire les muscles extenseurs de la cuisse et fléchisseurs de la jambe et des orteils (mouvements d'avant en arrière).

2° Antagonistes et synergiques. — A la cuisse, le grand fessier s'associe aux muscles antérieurs, comme le deltoïde aux membres supérieurs. Il fonctionne évidemment en même temps que les muscles qui fléchissent la cuisse sur le bassin, dans la station debout. Il a une chronaxie de $0\sigma,10$ à $0\sigma,16$ comme le premier groupe.

A la jambe, le soléaire s'associe aux muscles antéro-externes et il a la même chronaxie qu'eux¹, comme les radiaux s'associent aux muscles antérieurs à l'avant-bras.

Le soléaire a pour fonction, en effet, d'assurer la flexion plantaire du pied en se contractant synergiquement avec les péroniers, comme l'a montré Duchenne de Boulogne dans sa « Physiologie des mouvements ». Sa contraction est nécessaire aussi à l'extension des orteils (homologue de la flexion des doigts) qui ne peut se faire que quand le cou-de-pied est fixé, comme la flexion des doigts ne peut se faire que quand le poignet est fixé par les radiaux. Lorsqu'on fixe volontairement le pied pendant qu'on relève les orteils, on constate que seul le soléaire se contracte. La chronaxie du soléaire est de $0\sigma,24$ à $0\sigma,36$ égale à celle des muscles antéro-externes et différente de celle des muscles postérieurs et des jumeaux ($0\sigma,44$ à $0\sigma,72$) qui constituent avec lui le triceps sural.

On retrouve donc, parmi les muscles postérieurs de la jambe qui

1. G. BOURGUIGNON et M. TARNAUCEANU. Chronaxie normale du Triceps sural de l'Homme. *C. R. de la Soc. de Biologie*, t. LXXXVI, p. 483, 4 mars 1922.

sont antagonistes pour la plupart des muscles antéro-externes, un faisceau qui est avant tout synergique des muscles antéro-externes : c'est le soléaire.

Dans la recherche de la chronaxie du soléaire, il faut prendre quelques précautions. Elle est, en effet, beaucoup plus difficile à obtenir que celle des jumeaux.

Les traités classiques donnent, d'après Erb, trois points d'élection pour l'excitation du soléaire dont l'un est situé à la face interne de la jambe, à la limite inférieure du jumeau interne et dont les deux autres sont placés à la face externe de la jambe, l'un, inférieur, à peu près symétrique de celui de la face interne et l'autre, supérieur, situé un peu au-dessous du point moteur du jumeau externe. Or, l'expérience m'a montré qu'au niveau de ce dernier point on trouve, suivant la position donnée à la jambe pendant l'examen, tantôt une chronaxie de $0\sigma,44$ à $0\sigma,72$, qui est celle de tous les muscles postérieurs de la jambe, et tantôt une chronaxie de $0\sigma,28$ à $0\sigma,56$ qui est celle des muscles antéro-externes. Si, au contraire, on prend la chronaxie sur les points moteurs du soléaire situés plus bas, à la face interne et à la face externe de la jambe, on trouve toujours une chronaxie de $0\sigma,28$ à $0\sigma,56$. Or, on voit que c'est seulement lorsque la contraction se produit exclusivement dans le soléaire que l'on trouve la chronaxie de $0\sigma,28$ à $0\sigma,56$. Par conséquent, dans la région du point moteur supérieur, on prend, suivant la position de la jambe, la chronaxie du soléaire ou celle du jumeau externe.

Enfin, j'ai trouvé à la jambe un muscle pourvu de deux points moteurs et de deux chronaxies : c'est le jambier antérieur¹.

L'existence de la double chronaxie de ce muscle explique que j'ai observé souvent certains flottements dans la mesure de sa chronaxie comme j'en avais observé sur les extenseurs à l'avant-bras. Ces flottements ont disparu depuis que j'ai vu l'existence de deux points moteurs : la démonstration est exactement la même que pour les extenseurs, je ne la referai donc pas.

C'est encore le point moteur supérieur qui a la plus grande chronaxie : elle est de $0\sigma,24$ à $0\sigma,56$ égale à celle du reste du domaine du nerf sciatique poplitée externe.

Le point moteur inférieur a une chronaxie de $0\sigma,10$ à $0\sigma,16$, égale à celle des muscles antérieurs de la cuisse. Ce sont les flottements qu'il y avait dans les mesures avant que je sache que le jambier antérieur a deux points moteurs, qui expliquent que, dans mes travaux antérieurs² je lui attribuais une chronaxie intermédiaire à celle des muscles antérieurs de la cuisse et à celle des extenseurs du pied et des orteils et des péroniers.

1. G. BOURGUIGNON. Double chronaxie et double point moteur dans certains muscles de l'Homme. *C. R. Acad. des Sciences*, t. 175, p. 294, 31 juillet 1922.

2. G. BOURGUIGNON. *Loc. cit.*

La double chronaxie du jambier antérieur est encore en rapport avec une double fonction.

Le jambier antérieur, en effet, fonctionne tantôt synergiquement avec les muscles antérieurs de la cuisse et tantôt avec les muscles antéro-externes de la jambe.

Dans la marche, lorsque le membre inférieur se porte en avant, les muscles antérieurs de la cuisse se contractent pour étendre la jambe sur la cuisse et la porter en avant; en même temps, le jambier antérieur se contracte pour empêcher la pointe du pied de tomber, pour empêcher le *steppage*. Il fonctionne alors synergiquement avec les muscles antérieurs de la cuisse, dont son point moteur inférieur a la chronaxie.

Au contraire, quand il s'agit de relever le pied directement, les extenseurs des orteils et les péroniers doivent se contracter en même temps que le jambier antérieur pour éviter la déviation du pied en dedans. Le jambier antérieur fonctionne alors synergiquement avec les muscles innervés par le nerf sciatique poplitée externe dont son point moteur inférieur a la chronaxie.

J'ai donc retrouvé, au membre inférieur, un muscle à double chronaxie. Mais je n'en ai pas retrouvé d'autres jusqu'à présent. C'est encore, évidemment, la moindre variété des mouvements du membre inférieur qui explique la moindre complexité de la musculature et, en quelque sorte, la condensation des chronaxies.

On peut donc dire que toutes les lois démontrées sur le membre supérieur se retrouvent au membre inférieur.

La loi de la classification fonctionnelle y est respectée.

La loi de la croissance de la chronaxie en allant de la racine vers l'extrémité du membre se retrouve aussi.

La loi de l'égalité de la chronaxie du nerf et des points moteurs y trouve aussi une confirmation.

Enfin on y retrouve aussi des muscles à double point moteur et double chronaxie, correspondant à une double fonction.

Pour dresser le tableau de la classification des muscles du membre inférieur par la chronaxie, il faut remplacer, comme je l'ai dit, les mots « flexion » et « extension » par le sens du déplacement du segment de membre. (Voir tableau VIII, p. 209.)

Il est facile alors, en comparant le tableau VII et le tableau VIII, de voir les homologies du membre supérieur et du membre inférieur.

B. — Nerfs sensitifs

Je n'ai pas encore fait l'étude complète des nerfs sensitifs du membre inférieur, mais, avec la collaboration de Spilliaert, j'ai fait quelques mesures sur le nerf sciatique poplitée externe et sur le crural. Nous avons trouvé la même chronaxie pour les filets sensitifs du scia-

TABLEAU VIII

Classification fonctionnelle des muscles des membres inférieurs par la chronaxie.

ORIGINES RADICULAIRES	MUSCLES	FONCTIONS	GROUPE	CHRONAXIES
L ² L ³ L ⁴ . .	Grand fessier	Mouvements d'arrière en avant de la cuisse de la jambe et du pied. (Partie du jambier antérieur). + 1 synergique (grand fessier)	N° 1.	0 σ, 10 à 0 σ, 16
	Droit antérieur du quadriceps crural			
	Vaste interne			
	Vaste externe			
	Couturier			
	Grand adducteur			
	Moyen adducteur			
L ³ L ⁴ L ⁵ . .	Droit interne			
	Jambier { Point mot. inférieur. antérieur. { Point mot. supérieur			
	Extenseur commun des orteils .	Mouvements d'arrière en avant de la jambe et du pied et des orteils. + 1 synergique (soléaire).	N° 2.	0 σ, 24 à 0 σ, 36
	Extenseur propre du gros or- teil			
	Long et court péroniers			
	Pédieux			
	Soléaire			
	Jumeau interne			
	Jumeau externe			
L ⁵ S ¹ S ² . .	Fléchisseurs des orteils			
	Muscles de la plante du pied . .			
	Biceps crural	Mouvements d'avant en arrière de la cuisse.	N° 3.	0 σ, 44 à 0 σ, 72
	Demi-membraneux			
	Demi-tendineux			

tique poplitée externe que pour les muscles antéro-externes de la jambe, et la même chronaxie pour les filets sensitifs du crural que pour les muscles antérieurs de la cuisse. C'est un fait qui concorde avec les résultats de l'étude du membre supérieur.

II

FACE

A. — Muscles et nerfs moteurs.

Après avoir déterminé la chronaxie des muscles des membres, je suis passé à l'étude des nerfs et muscles de la face.

Il y a lieu de diviser ces muscles en deux groupes, les muscles de la face proprement dits qui sont des muscles peauciers innervés

par le facial et les muscles masticateurs, innervés par la branche motrice du trijumeau.

1° **Domaine du nerf facial.** — Nulle part, peut-être, plus qu'à la face, la nécessité de la table d'appui se fait sentir. Il est impossible, sans elle, d'obtenir l'immobilité du sujet. Il faut que le sujet fixe sa tête en s'appuyant sur le poing, le coude appuyé sur la table accessoire. Il faut aussi que l'opérateur prenne un point d'appui solide sur le coude qui commande la main qui tient l'électrode.

Dans ces conditions, avec la collaboration de A. TUPA¹ j'ai montré qu'il y a, à la face, deux groupes de chronaxies, qui sont sensiblement égales aux groupes n°s 3 et 4 du membre supérieur: elles sont en effet de 0 σ ,24 à 0 σ ,36 et de 0 σ ,48 à 0 σ ,72.

On trouve donc, à la face, une chronaxie de fléchisseurs et une chronaxie d'extenseurs. Quelle est la signification physiologique de ces faits?

Une étude attentive de la répartition de la chronaxie à la face nous a mis sur la voie. D'une façon générale, la chronaxie la plus grande 0 σ ,44 à 0 σ ,72 appartient aux muscles innervés par la branche supérieure du facial, tandis que la chronaxie 0 σ ,28 à 0 σ ,36 appartient aux muscles innervés par la branche inférieure du facial.

Après avoir cherché des explications compliquées, en cherchant à rapprocher ces faits du mécanisme de la mimique étudié par Duchenne de Boulogne, je me suis aperçu que la vérité était beaucoup plus simple. C'est l'étude du sourcilier qui m'a éclairé. En effet, parmi les muscles innervés par la branche supérieure, le sourcilier a la chronaxie des muscles innervés par la branche inférieure. Voilà donc, à la face comme aux membres, parmi les muscles ayant la plus grande chronaxie, un muscle qui a la même chronaxie que le groupe opposé.

Mais quelle est l'action du sourcilier? Il abaisse les plis du front. Au contraire, tous les muscles innervés par la branche supérieure relèvent ou le front ou la lèvre, en un mot les traits. — Le sourcilier agit dans un sens inverse des muscles de la branche supérieure, quoique innervé par elle. Les muscles innervés par la branche inférieure, par contre, tirent les traits en bas, quand on pleure, par exemple. Ils agissent donc sur les traits dans le même sens que le sourcilier. Dès lors, les choses deviennent très simples. Les muscles de la face se divisent en deux grands groupes :

1° ceux qui relèvent les traits; 2° ceux qui les abaissent. Les premiers sont les extenseurs de la face et les deuxièmes en sont les fléchisseurs.

Le rapport de leurs chronaxies est encore 1/2 comme sur les membres.

L'étude de la face confirme donc tous les résultats obtenus sur les

1. G. BOURGUIGNON et A. TUPA. Chronaxie normale du nerf facial et des muscles de la face chez l'Homme. — Leur classification fonctionnelle par la chronaxie. *C. R. de la Soc. de Biologie*, t. LXXXV, p. 982, 26 novembre 1921.

membres et la loi de la classification fonctionnelle des muscles par la chronaxie se vérifie à la face.

On peut résumer ces faits dans le tableau suivant :

TABLEAU IX
Classification fonctionnelle des muscles de la face
par la chronaxie.

NERF	MUSCLES	GROUPES	CHRONAXIES	FONCTIONS
Branche supérieure du nerf facial.	Orbiculaire de la paupière supérieure.	N° 1.	0 σ ,48 à 0 σ ,72	Releveurs des traits.
	Orbiculaire de la paupière inférieure.			
	Grand zygomatique			
	Releveur de l'aile du nez			
	Orbiculaire de la lèvre supérieure			
	Frontal			
Branche inférieure.	Sourcilier.	N° 2.	0 σ ,24 à 0 σ ,36	Abaisseurs des traits.
	Orbiculaire de la lèvre inférieure.			
	Carré du menton			
	Houppé du menton			

2° **Domaine de la branche motrice du Trijumeau.** — La branche motrice du trijumeau innerve les muscles connus en anatomie descriptive sous le nom de « Muscles masticateurs » qui sont au nombre de quatre :

Temporal ; Masséter ; Ptérygoïdien interne ; Ptérygoïdien externe.

Ces muscles ont tous une action commune qui est l'élévation du maxillaire inférieur. De plus, les ptérygoïdiens communiquent au maxillaire des mouvements latéraux ou de diduction.

A ces quatre muscles élévateurs de la mâchoire s'oppose un seul muscle abaisseur, le digastrique, innervé à la fois par le facial et par le glosso-pharyngien.

Je n'ai pas pu faire une étude complète des muscles qui meuvent la mâchoire, parce qu'il n'y en a que deux qui soient accessibles à l'exploration : le temporal et le masséter. Encore l'exploration du temporal n'est-elle pas toujours facile.

Il manque donc, à mon étude, la comparaison de la chronaxie des deux groupes antagonistes.

Cependant j'ai constaté, en étudiant le masséter et le temporal, un fait qui me paraît mériter de retenir l'attention : le temporal et le masséter, qui ont une action commune : celle de relever la mâchoire, et qui agissent sur la mâchoire dans le même sens que les muscles du

domaine du facial qui relèvent les traits, ont la même chronaxie que ces derniers.

Sur les quelques sujets sur lesquels j'ai mesuré la chronaxie du temporal et du masséter, je l'ai toujours trouvée comprise entre $0\sigma,48$ et $0\sigma,64$. En voici un exemple :

SUJET	RHÉOBASE		CHRONAXIE	
	VOLTAGE	INTENSITÉ	C. τ	τ
	v.	mA.	mf.	σ
M. R. — Expérience du 25 février 1922.				
Masséter { Côté droit	73	3,3	0,16	$0\sigma,64$
Point moteur { Côté gauche	66	2,9	0,13	$0\sigma,52$
Temporal { Côté droit	46	1,6	0,13	$0\sigma,52$
Point moteur { Côté gauche	38	1,2	0,16	$0\sigma,64$

Or, nous avons vu que les muscles de la face releveurs des traits ont une chronaxie de $0\sigma,48$ à $0\sigma,72$.

Il est vraisemblable qu'avec un nombre d'expériences plus grand on trouvera exactement les mêmes limites pour les valeurs de la chronaxie des releveurs de la mâchoire que pour les valeurs de la chronaxie des releveurs des traits.

Il ressort donc bien, de toutes ces expériences, que les lois mises en évidence sur le membre supérieur sont générales.

C'est ce que confirme encore l'étude que j'ai commencée du nerf de sensibilité générale de la face, le nerf trijumeau.

B. — Nerfs sensitifs. — Trijumeau.

L'étude de la chronaxie du nerf trijumeau présente de grandes difficultés. En effet, il n'est pas possible d'exciter le tronc même du nerf trijumeau dans une région où la peau qui le recouvre est innervée par un autre nerf.

Je m'explique. Considérons le nerf médian par exemple.

Le tronc du nerf est accessible à l'exploration électrique à l'avant-bras et au bras. Dans ces régions, la peau est innervée par d'autres nerfs, le médian donnant la sensibilité seulement à la main. On a donc sous l'électrode d'une part le tronc du médian et, d'autre part, les terminaisons d'un nerf différent qui innerve la peau sus-jacente au tronc du médian. Il est donc très facile de distinguer la sensation produite sous l'électrode par l'excitation des terminaisons cutanées du nerf musculo-cutané, de la sensation de fourmillements propagés à la main et aux doigts que provoque l'excitation du tronc du médian sous-jacent.

Mais à la face, lorsqu'on place l'électrode sur le point d'émergence d'une branche du trijumeau, le trou mentonnier, par exemple, la

région de la peau qui recouvre le nerf mentonnier est innervée par les branches du nerf mentonnier lui-même.

Dans ces conditions, les sensations produites par l'excitation du tronc même du nerf se distinguent mal de celles que produit l'excitation des terminaisons du même nerf, dans la peau interposée. Il en résulte une certaine confusion dans les sensations éprouvées par le sujet.

Malgré cette difficulté, je suis arrivé à prendre, avec A. Radovici, quelques chronaxies sur le nerf mentonnier qui innerve la peau de la partie inférieure de la face, celle qui recouvre les muscles innervés par la branche inférieure du facial.

Nous avons trouvé une chronaxie de 0,28 à 0,32 qui est égale à celle des muscles du menton.

Nous n'avons pas fait assez de mesures pour que je puisse donner les limites de la variation de la chronaxie sensitive du nerf mentonnier. Je donnerai donc l'exemple suivant.

Expérience du 27 février 1921. — Sujet: Dr. R.... — Nerf mentonnier excité à son émergence du trou mentonnier, à droite. — Electrode différenciée n° 2. — Fourmillements dans la peau du menton, à distance de l'électrode.

	RHÉOBASE				CHRONAXIE		CHRONAXIE DES MUSCLES SOUS-JACENTS
	PREMIÈRE MESURE		VÉRIFICATION		C τ	τ	
	VOLTAGE	INTENS.	VOLTAGE	INTENS.			
1 ^{re} mesure	100	4 mA	100	4 mA,05	0 mf,08	0 σ ,32	0 σ ,24
2 ^e —	101	4 mA	100	4 mA	0 mf,07	0 σ ,28	à
3 ^e —	100	4 mA	100	4 mA	0 mf,08	0 σ ,32	0 σ ,36

Le résultat est donc en parfait accord avec ce que nous avons vu au membre supérieur. *La chronaxie sensitive est égale à la chronaxie motrice dans la même région.*

C. — Nerfs sensoriels. — Essai de mesure de la chronaxie du système optique (Nerf-Rétine).

J'ai entrepris des recherches sur la chronaxie du système optique. Les mesures sont très difficiles. Cependant, les mesures que j'ai prises, et qui portent sur trois sujets, sont toutes du même ordre de grandeur. Il est donc intéressant de les étudier.

1^o Technique. — J'ai naturellement utilisé le phosphène que l'excitation électrique de l'œil provoque. Je ne saurais dire, naturellement, s'il s'agit d'excitations de la rétine ou d'excitations du nerf optique.

La technique que j'ai employée est très simple. On emploie la

méthode monopolaire et on place la petite électrode (tampon n° 2) dans l'angle externe de l'orbite.

Il faut prendre certaines précautions. Le sujet doit fermer les yeux. Il vaudrait mieux même, d'après ce que j'ai vu, opérer dans l'obscurité. L'électrode est placée dans un des angles de l'orbite, contre le globe oculaire, à la surface des paupières fermées. Il faut faire attention de poser l'électrode légèrement et de ne pas appuyer pour ne pas provoquer de phosphènes par la simple pression. Il est donc encore ici très utile que le sujet et l'opérateur aient un bon point d'appui. Le sujet soutient son menton d'une main, le coude bien appuyé, comme pour les mesures de chronaxie du facial ou du trijumeau.

2° **Mesures de chronaxie.** — À la fermeture du courant galvanique, ou à la décharge de condensateurs, le sujet éprouve une sensation lumineuse, colorée de façons variées suivant les sujets avec les courants un peu forts, mais sans caractères nets de couleurs avec les intensités liminaires.

Dans ces conditions, chez les trois sujets que j'ai examinés, j'ai trouvé des chronaxies toujours assez grandes, comprises entre 1 σ ,2 et 4 σ . Les rhéobases sont toujours très petites.

Voici les résultats de ces expériences :

SUJETS ET DATES DES EXPÉRIENCES	COTÉ	RHÉOBASE PREM. MESURE		CHRONAXIE	
				C τ	τ
		VOLT.	INTENS.		
		v.	mA.	mf.	σ .
M. R. 30 janvier 1921	OEil gauche	15	0,4	0,31	1,24
M. S. 16 décemb. 1921	OEil gauche { 1 ^{re} mesure. .	3		0,4	1,60
	{ 2 ^e mesure. .	4		0,83	3,32
M. J. 23 novemb. 1922	OEil droit	6	0,1	0,59	2,36

La chronaxie du système optique (nerf-rétine) a donc été comprise dans trois expériences sur quatre entre 1 σ ,24 et 2 σ ,36, ce qui est une variation d'un sujet à l'autre du même ordre de grandeur que sur les nerfs moteurs et les nerfs sensitifs cutanés. La chronaxie de 3 σ ,32, trouvée une seule fois, paraît devoir être considérée comme trop grande. Les limites exactes entre lesquelles se tient la mesure de ce système ne pourront, évidemment, être établies avec certitude que sur un plus grand nombre d'expériences.

Tels qu'ils sont, ces résultats donnent une indication intéressante, c'est que l'ordre de grandeur de cette chronaxie sensorielle est nettement plus grand que l'ordre de grandeur des chronaxies motrices et sensitives générales.

Il y aura lieu, évidemment, d'étudier ainsi tous les neurones senso-

riels. Je pense qu'on y trouvera des chronaxies du même ordre que sur le système optique.

Les sensations de goût, que le passage du courant par la face provoquent, permettent de penser qu'on pourra mesurer facilement la chronaxie des nerfs du goût. Les sensations de bruit et les vertiges que provoque le passage du courant par les oreilles permettront d'étudier la chronaxie du nerf auditif et celle du système labyrinthique.

C'est toute la physiologie et la pathologie du vertige voltaïque qui pourra ainsi être précisée.

III

COU ET CEINTURE SCAPULAIRE

A. — Cou.

Pour le cou, je me suis trouvé devant la même difficulté que pour la mâchoire. On ne peut, en effet, prendre la chronaxie que de la couche superficielle, c'est-à-dire du sterno-cléido-mastoidien et du trapèze cervical.

Ces deux muscles ont la même chronaxie : $0\sigma,08$ à $0\sigma,16$. C'est la chronaxie la plus petite qu'on rencontre chez l'Homme normal.

Quand on songe que l'équilibre de la tête exige la contraction synergique des différents muscles du cou, on comprend qu'il en soit ainsi. Nulle part peut-être plus qu'ici l'exécution d'un mouvement quelconque exige la contraction synergique de l'antagoniste.

Y a-t-il, parmi les muscles profonds, quelque muscle ou quelques faisceaux jouant principalement le rôle d'antagonistes? C'est ce qu'il est impossible de savoir par l'expérimentation sur le sujet entier normal. Cette question ne pourra, évidemment, être résolue que par l'expérimentation sur les animaux mammifères.

Les sujets dont les muscles superficiels sont atrophiés ne peuvent servir à l'étude de cette question en raison d'un fait très important que nous étudierons plus loin et qui est celui de la répercussion des lésions des neurones les uns sur les autres.

Quoi qu'il en soit, s'il était bien impossible d'établir les lois de la répartition de la chronaxie en étudiant le cou, ce que nous pouvons en savoir s'accorde très bien avec tout l'ensemble des recherches précédentes.

B. — Ceinture scapulaire.

Les muscles de la ceinture scapulaire constituent aussi un groupe très homogène dont la chronaxie est la même : $0\sigma,08$ à $0\sigma,16$.

Il est facile encore de constater sur soi-même que tous les mouvements du bras sur l'épaule s'accompagnent d'une contraction de tous

les muscles de la ceinture scapulaire. Ce groupe est constitué par les muscles suivants, tous accessibles à l'exploration :

TABLEAU X
Chronaxie des muscles de la ceinture scapulaire.

MUSCLES	CHRONAXIE
Trapèze dorsal.	} 0 σ ,08 à 0 σ ,16
Grand pectoral.	
Grand dorsal.	
Grand dentelé.	
Grand rond.	
Petit rond.	
Sus-épineux.	
Sous-épineux.	

L'exploration de ces muscles présente, pour certains d'entre eux, d'assez grandes difficultés. S'il est facile de mesurer la chronaxie des différentes portions du trapèze dorsal, du grand pectoral ou du grand dorsal, il n'en est pas de même pour les grands et petits ronds et surtout pour les sus et sous-épineux et pour le grand dentelé.

Dans mes premières recherches sur ces muscles, j'ai eu quelques incertitudes, trouvant tantôt des chronaxies assez grandes mais inconstantes, et tantôt des chronaxies de 0 σ ,08 à 0 σ ,16. Mais en prenant des précautions dans la recherche du point moteur, d'une part, et, d'autre part, dans l'examen du mouvement produit, on arrive à être certain d'exciter toujours les mêmes faisceaux.

Il ne faut pas, sur ces muscles, chercher à prendre les seuils par l'inspection du muscle, mais il faut prendre comme témoin le premier mouvement perceptible.

Des expériences nombreuses faites sur les muscles des membres faciles à explorer m'ont montré qu'on trouve toujours la même chronaxie pour le même muscle en prenant les seuils par l'inspection du soulèvement des fibres musculaires qu'en la prenant par l'inspection du mouvement produit. La rhéobase est plus grande dans le deuxième cas que dans le premier, naturellement, mais la chronaxie ne change pas.

Voici un exemple de cette expérience :

Expérience du 19 mars 1920.

M. C..., — Extenseur commun des doigts à droite. — Point moteur. — Faisceau du 4^e doigt.

Les seuils sont pris successivement sur la vue du soulèvement du muscle et sur la vue du mouvement d'extension du 4^e doigt. Au moment où le premier soulèvement du muscle est aperçu, on note la rhéobase. On augmente ensuite l'intensité jusqu'à ce que la contraction soit suffisante pour qu'on puisse voir le premier mouvement

d'extension du 4^e doigt. On note cette deuxième rhéobase. Ensuite, on prend le voltage double de la 1^{re} rhéobase et on cherche la chronaxie au soulèvement des fibres musculaires : il n'y a aucun mouvement du 4^e doigt.

On double ensuite la deuxième rhéobase et on cherche la chronaxie en guettant le premier mouvement d'extension du 4^e doigt. Les deux chronaxies sont semblables.

MODE D'EXPLORATION DU SEUIL	RHÉOBASE		CHRONAXIE	
	VOLTAGE	INTENS.	C τ	τ
1 ^o Soulèvement des fibres musculaires . .	67	1 mA,4	0 mf,12	0 σ ,48
2 ^o Mouvement d'extension du 4 ^e doigt. . .	74	1 mA,6	0 mf,12	0 σ ,48

Cette expérience a été répétée sur un grand nombre de sujets et sur différents muscles un grand nombre de fois. Elle donne toujours le même résultat.

On peut donc prendre les seuils de l'une ou l'autre manière : c'est affaire de cas particulier.

Pour les muscles dont nous nous occupons ici : grand et petit rond, sus et sous-épineux, grand dentelé, le mouvement est le seul témoin fidèle ; les masses musculaires de l'épaule sont trop voisines les unes des autres pour qu'on ne puisse facilement prendre les seuils tantôt sur un groupe de fibres et tantôt sur un groupe de fibres voisin. Comme les rhéobases varient avec les déplacements de l'électrode, on conçoit que, malgré l'égalité de la chronaxie de ces muscles, les résultats soient mauvais. Quand on prend les précautions que je viens d'indiquer, les résultats sont très constants et la chronaxie de tous ces muscles est toujours comprise dans les limites que je viens d'indiquer, soit 0 σ ,08 à 0 σ ,16 ; la chronaxie est la même pour le cou, la ceinture scapulaire et les muscles antérieurs du bras.

IV

TRONC

L'étude du tronc est particulièrement intéressante.

Nous retrouvons, au tronc, des mouvements étendus de flexion et d'extension comparables à ceux des membres.

Aussi voyons-nous reparaître des différenciations importantes par la chronaxie. Il y a à considérer séparément les mouvements de la colonne vertébrale et ceux de la cage thoracique.

A. — Muscles agissant sur la colonne vertébrale.

Si l'on considère les mouvements d'inclinaison du tronc en avant et en arrière, on peut regarder les muscles antérieurs de l'abdomen comme les *fléchisseurs* du tronc, c'est-à-dire de la colonne vertébrale et les muscles postérieurs de la paroi thoraco-abdominale comme les extenseurs de la colonne vertébrale.

J'ai d'abord étudié les muscles les plus accessibles, c'est-à-dire les muscles antérieurs de l'abdomen, grand droit, grand oblique et transverse.

Le petit oblique, situé plus profondément, échappe à l'exploration.

Le grand droit est excitable au niveau de deux points moteurs qui commandent, l'un, la portion sous-ombilicale et l'autre la portion sus-ombilicale de ce muscle. A la surface du grand oblique et du transverse on trouve aussi plusieurs points moteurs commandant chacun une portion du muscle.

Pour tous ces muscles, j'ai trouvé la chronaxie de 0,08 à 0,16 sur tous leurs points moteurs, avec une valeur de 0,12 dans le plus grand nombre des mesures.

Les muscles fléchisseurs ou muscles antérieurs ont donc, comme sur les membres, une petite chronaxie. Ils constituent le premier groupe des muscles du tronc.

Le deuxième groupe est constitué par les muscles postérieurs, carré des lombes, et masse commune. Le carré des lombes, profondément situé, ne peut pas être exploré.

La masse commune se décompose elle-même en trois muscles dont deux sont superficiels et le troisième profond. Les deux muscles superficiels sont : en dehors, la masse sacro-lombaire ou muscle ilio-costal et, en dedans, le long dorsal : ils sont facilement explorables. Le troisième, profond, est le transversaire épineux : il échappe à l'examen.

Des muscles postérieurs, je n'ai donc pu étudier que le long dorsal et la masse sacro-lombaire. Ils suffisent à établir les lois de la chronaxie au tronc.

La masse sacro-lombaire présente un point moteur très accessible à environ 6 à 8 centimètres en dehors de la ligne des apophyses épineuses sur la ligne horizontale passant par la douzième vertèbre dorsale ou la première vertèbre lombaire, suivant les sujets. Sur la masse sacro-lombaire, je n'ai pu mettre en évidence que cet unique point moteur. La chronaxie a varié dans les différentes mesures prises sur un même sujet, et sur différents sujets, au nombre de trois, entre 0,20 et 0,32, avec 0,28 comme valeur la plus fréquemment rencontrée.

Le long dorsal est composé de faisceaux qui chevauchent les uns sur les autres. Ces faisceaux, qui s'étendent depuis la région sacro-

iliaque jusqu'aux premières vertèbres dorsales, sont faciles à mettre en évidence isolément avec un courant télanisant. J'ai pu ainsi repérer exactement les points d'insertion supérieure et inférieure de chaque faisceau, ainsi que les points moteurs correspondant à chacun d'eux. L'expérience est assez délicate et exige la présence d'un aide : c'est avec l'aide du Dr Spilliaert que j'ai fait ces recherches.

J'ai pu ainsi mettre en évidence huit points moteurs successifs étagés le long de la ligne des apophyses épineuses, séparé chacun par un intervalle de 5 à 6 centimètres environ.

Après avoir déterminé très exactement les points moteurs du long dorsal, j'en ai pris les chronaxies et j'y ai trouvé, à la fois, l'explication des difficultés que j'ai rencontrées au début de ces expériences et la confirmation de mes expériences sur le double point moteur des extenseurs.

Au début, en effet, ignorant l'existence de ces points moteurs régulièrement étagés, je cherchais, un peu au hasard, un point d'excitabilité maxima. Je trouvais alors tantôt une chronaxie de $0\sigma,12$ environ et tantôt une chronaxie de $0\sigma,24$ environ, c'est-à-dire que tantôt je trouvais la même chronaxie que sur les muscles antérieurs et tantôt une chronaxie double, égale à celle que j'avais trouvée très constante sur la masse sacro-lombaire.

Quelquefois même, croyant être exactement au point moteur, je trouvais dans une mesure $0\sigma,12$ et dans l'autre mesure $0\sigma,24$ ou $0\sigma,28$. Un très léger déplacement de l'électrode suffisait à déterminer l'une ou l'autre chronaxie.

C'est à cause de ces faits que j'ai fait l'hypothèse que peut-être le long dorsal avait deux chronaxies et que j'ai fait les recherches précises qui ont abouti à la description que je viens de donner du chevauchement des faisceaux au niveau de leurs extrémités et de la succession des points moteurs.

Une fois les points moteurs bien déterminés, les résultats des mesures devinrent très réguliers et je constatai que la chronaxie des points moteurs successifs était alternativement égale à la petite chronaxie des muscles antérieurs de l'abdomen et double d'elle.

J'ai ainsi repéré les huit points moteurs chez trois sujets. Chez tous, quatre de ces points avaient une chronaxie qui a oscillé de $0\sigma,08$ à $0\sigma,16$ et quatre une chronaxie qui a oscillé de $0\sigma,20$ à $0\sigma,32$; sur les trois sujets, nous n'avons pu trouver les huit points moteurs que sur deux d'entre eux. Sur le troisième, qui était très gras, nous n'avons pu trouver que les cinq premiers points situés à la région lombaire et dorsale inférieure. Le pannicule adipeux trop développé dérobait à l'excitation la partie supérieure du long dorsal. Mais nous avons trouvé sur les cinq points accessibles, trois points de petite chronaxie et deux points de chronaxie double.

Voici, pour fixer les idées, les détails d'une de ces expériences.

Expérience du 1^{er} décembre 1922. — M. T. Sujet maigre.

Longueur totale de la colonne dorso-lombaire, mesurée entre l'apophyse épineuse de la septième vertèbre cervicale et l'extrémité supérieure du pli inter-fessier = 62 centimètres.

L'examen est fait sur le malade couché sur le ventre. Les bras tombent de chaque côté du lit pour entraîner le plus possible les omoplates en dehors. Un traversin est mis sous l'abdomen pour faire saillir la colonne vertébrale et obtenir un bon relâchement des muscles des gouttières.

On détermine avec soin les points moteurs avec un courant tétanisant et on les repère en mesurant leur distance à l'extrémité supérieure du pli inter-fessier.

On détermine en même temps, par la palpation, les extrémités du faisceau contracté dont on mesure la longueur.

Sur chaque point moteur, on mesure ensuite la chronaxie avec les condensateurs.

Méthode monopolaire. — Electrode différenciée : tampon n° 2. — 6.000 ω en série dans la branche du sujet. — Les points moteurs sont comptés de bas en haut.

NUMÉROS DES POINTS MOTEURS	DISTANCE DU POINT MOTEUR A L'EXTRÉMITÉ SUPÉRIEURE DU PLI INTERFESSIER	DISTANCE DU POINT MOTEUR A CHAQUE EXTRÉMITÉ DU FAISCEAU		LONGUEUR TOTALE DU FAISCEAU CONTRACTÉ	RHÉOBASE				CHRONAXIE	
		EXTRÉMITÉ INFÉRIEURE	EXTRÉMITÉ SUPÉRIEURE		PREMIÈRE MESURE		VÉRIFI- CATION		0,7	7
					VOLT.	INT.	VOLT.	INT.		
	cm.	cm.	cm.	cm.	v.	mA	v.	mA	mf.	σ
N° 1.	14	1	4	8	106	6,2			0,026	0,10
N° 2.	20	4	4	8	138	8,2	131	7,9	0,07	0,28
N° 3.	26	4	5	9	108	5,7			0,026	0,10
N° 4.	31	4,5	5,5	10	96	4	94	3,8	0,08	0,32
N° 5.	35	4	4	8	114	4,1	110	4,2	0,024	0,10
N° 6.	41	5	4	9	113	7,2			0,09	0,36
N° 7.	46	5	4	9	145	9,6			0,04	0,16
N° 8.	51	5	3	8	120	7,7	115	7,3	0,077	0,30

Les points moteurs sont séparés les uns des autres par des distances de 5 à 6 cm. Les faisceaux ont une longueur de 8 cm à 9 cm. Il y a donc un chevauchement de l'extrémité supérieure d'un faisceau donné sur l'extrémité inférieure du faisceau sus-jacent, d'environ 2 cm à 3 cm. Les points moteurs impairs ont tous une chronaxie comprise entre 0 σ ,10 et 0 σ ,16. Les points moteurs pairs ont tous une chronaxie comprise entre 0 σ ,28 et 0 σ ,36. Sur d'autres sujets, la limite inférieure est descendue à 0 σ ,08 pour la petite chronaxie et à 0 σ ,20 pour la grande chronaxie.

L'étude des muscles du tronc nous montre donc répartie en des faisceaux séparés, la division des extenseurs de l'avant-bras en deux

portions par la chronaxie. Mais ici, on peut reconnaître anatomiquement sur le sujet vivant les fibres de chaque chronaxie, tandis que, dans les extenseurs, le mouvement est le même et la palpation ne permet pas de distinguer la portion de muscle qui se contracte pendant l'excitation d'un des points moteurs de celle qui, en même temps, ne se contracte pas.

On observe très nettement, sur le long dorsal, à la simple inspection, que la contraction est plus rapide dans les faisceaux de petite chronaxie que dans ceux de chronaxie double. C'est la même observation que j'ai déjà faite à propos des extenseurs.

Cette expérience sur le long dorsal confirme d'une manière saisissante les expériences sur le double point moteur des extenseurs.

Le tronc se comporte donc exactement comme les membres.

Les fléchisseurs ou muscles antérieurs ont une petite chronaxie de 0σ,08 à 0σ,16.

Les extenseurs se divisent en faisceaux de deux chronaxies différentes; les uns, qui sont les extenseurs proprement dits, ont une chronaxie environ double de celle des muscles fléchisseurs, soit 0σ,20 à 0σ,36 : ce sont les faisceaux pairs du long dorsal en les comptant de bas en haut, et la masse sacro-lombaire. Les autres, qui sont les *synergiques* des fléchisseurs ont la même chronaxie qu'eux : ce sont les faisceaux impairs du long dorsal. Toutes les lois tirées de l'étude du membre supérieur sont encore confirmées au tronc.

On peut résumer ce groupement des muscles du tronc dans le tableau suivant :

TABLEAU XI

**Classification fonctionnelle des muscles du tronc
agissant sur la colonne vertébrale par la chronaxie.**

MUSCLES	GROUPES	CHRONAXIE	FONCTIONS
Grand droit de l'abdomen	N° 1	0σ,08 à 0σ,16	Fléchisseurs du tronc + faisceaux synergiques.
Grand oblique de l'abdomen. . .			
Transverse de l'abdomen. . . .			
Long dorsal { Faisceaux pairs . .	N° 2	0σ,20 à 0σ,36	Extenseurs du tronc.
{ Faisceaux impairs. }			
Masse sacro-lombaire			

B. — Muscles agissant sur les côtes.

Diaphragme et ses antagonistes.

Le diaphragme, on le sait depuis les immortels travaux de Duchenne de Boulogne¹, produit l'agrandissement de la cage thoracique dans

1. DUCHENNE DE BOULOGNE. *Physiologie des mouvements*, p. 620.

tous ses diamètres, lorsqu'on étudie son action sur l'homme ou sur l'animal vivant non éviscéré.

Cet agrandissement est dû à la fois à l'effacement de la courbure du diaphragme, mais surtout à l'élévation et à la projection des côtes en dehors. Le diaphragme est un muscle inspirateur et éleveur des côtes.

Dans son action sur les côtes et dans la respiration, il a comme antagonistes les muscles antérieurs de l'abdomen, grand droit et grand oblique principalement, et transverse de l'abdomen accessoirement. Ces muscles, en effet, quand ils prennent leur point fixe sur le bassin, abaissent les côtes. En même temps, en refoulant les organes abdominaux, ils repoussent le diaphragme dans le thorax pendant l'expiration. Ce sont, à la fois, des muscles expirateurs et abaisseurs des côtes.

Dans leur action sur le thorax, ils sont antagonistes à la fois des muscles extenseurs de la colonne vertébrale, comme nous l'avons vu tout à l'heure, et du diaphragme.

Il était donc intéressant de mesurer la chronaxie de ce muscle.

On ne peut pas, bien entendu, exciter directement le diaphragme ; mais on réussit très bien son excitation indirecte par le nerf phrénique, ainsi que Duchenne de Boulogne l'a démontré¹. Dans le creux sus-claviculaire, en déprimant la peau le long du bord externe du chef claviculaire du sterno-cléido-mastoïdien, on arrive à placer une petite électrode au voisinage du nerf phrénique derrière la clavicule.

On facilite la découverte du nerf phrénique en faisant tourner légèrement la tête du sujet du côté opposé à celui sur lequel on veut exciter le phrénique.

Lorsque l'électrode est bien placée sur le nerf phrénique, chaque excitation produit un violent mouvement d'élévation, avec projection en dehors, des côtes de la moitié du thorax du côté correspondant au nerf excité ; le mouvement est visible surtout au niveau des côtes inférieures. En même temps, l'air pénètre bruyamment en donnant un véritable hoquet et le sujet éprouve une sensation très nette, grâce à laquelle il peut dire si le phrénique a bien été excité ou non.

Duchenne de Boulogne décrit le bruit entendu comme un soupir prolongé, parce qu'il employait un courant tétanisant et non un choc de fermeture ou de décharge de condensateurs.

Le seuil, une fois l'électrode bien placée, est très net.

J'ai fait l'expérience sur plusieurs sujets. J'ai toujours trouvé une chronaxie comprise entre 0 σ ,20 et 0 σ ,32 : l'approximation de la mesure est aussi bonne que sur tout autre muscle ou nerf plus facilement accessible.

Voici quelques exemples de ces mesures :

1. DUCHENNE DE BOULOGNE. *Physiologie des mouvements*, loc. cit. — *Électrisation localisée*, 2^e édition, p. 740.

SUJET ET DATES DES EXPÉ- RIENCES	COTÉ	NOMBRE DES MESURES	RHÉOBASE				CHRONAXIE	
			PREMIÈRE MESURE		VÉRIFICATION		C τ	τ
			VOLTAGE	INTENS.	VOLTAGE	INTENS.		
			v.	mA.	v.	mA.	mf.	τ .
M. Th. 5 juillet 1920	Droit	1 ^{re} mesure. .	65	2,8			0,05	0,20
		2 ^e mesure. .	54	2,2			0,08	0,32
		3 ^e mesure. .	43	1,8	44	1,7	0,07	0,28
	Gauche.	1 ^{re} mesure. .	80	3,6			0,08	0,32
		2 ^e mesure. .	30	1			0,06	0,24
		3 ^e mesure. .	46	1,6	44	1,65	0,06	0,24
M. Sp. 17 2 22.	Droit		81	3			0,08	0,32

D'autres mesures faites sur d'autres sujets ont donné des résultats concordants.

La chronaxie du nerf phrénique est donc bien comprise entre 0 τ ,20 et 0 τ ,32 à l'approximation des mesures.

Cette chronaxie est la même que celle de la masse sacro-lombaire et des faisceaux pairs du long dorsal, et double de celle des muscles antérieurs de l'abdomen.

C. — Groupement général des muscles du tronc par la chronaxie.

Cette constatation montre donc, une fois de plus, que les extenseurs ont une chronaxie double de celle des fléchisseurs.

Le diaphragme, antagoniste des mêmes muscles que les extenseurs de la colonne, a la même chronaxie qu'eux.

La chronaxie classe donc les muscles du tronc en deux groupes. Dans le premier groupe, les mêmes muscles agissent à la fois pour produire la flexion du tronc, et l'abaissement des côtes et l'expiration.

Dans le deuxième groupe, l'extension du tronc est accomplie par des muscles différents de celui qui produit l'élévation des côtes et l'inspiration, actions propres au diaphragme.

L'étude du tronc permet donc de mettre en évidence avec autant de netteté, sinon plus peut-être, au moins en ce qui concerne l'individualisation de faisceaux fonctionnellement différents à l'intérieur d'un même muscle, que celle du membre supérieur.

On peut schématiser cette classification fonctionnelle des muscles du tronc par la chronaxie dans le tableau suivant :

TABLEAU XII.

Classification fonctionnelle des muscles du tronc par la chronaxie, au double point de vue de leur action dans les mouvements du tronc et dans les mouvements respiratoires.

MUSCLES	FONCTIONS		GROUPES	CHRONAXIES
	1 ^{re} ACTION	2 ^e ACTION		
Grand droit de l'abdomen	Fléchisseurs du tronc + faisceaux synergiques	Abaisseurs des côtes et expirateurs.	N° 1	0 π ,08 à 0 π ,16
Grand oblique de l'abdomen . . .				
Transverse de l'abdomen				
Long dorsal { Faisceaux pairs . . .				
{ Faisceaux impairs . . .	Extenseurs du tronc.	Élévateur des côtes et inspirateur.	N° 2	0 π ,20 à 0 π ,36
Masse sacro-lombaire				
Diaphragme				

V

RÉSUMÉ

Il n'est pas besoin de longs commentaires pour résumer toutes les expériences sur l'ensemble des muscles du corps que je viens d'étudier.

S'il y a quelques lacunes, s'il manque, dans mon travail, certains muscles comme ceux de la langue et du voile du palais que je n'ai pas encore étudiés, ou d'autres muscles comme les ptérygoïdiens et quelques autres que leur situation profonde soustrait aux investigations sur l'homme ou l'animal intact, j'ai cependant étudié avec assez de détails toutes les régions du corps pour dire que partout toutes les lois tirées de la distribution de la chronaxie motrice ou sensitive aux membres supérieurs se retrouvent.

Toutes mes expériences se contrôlent et se vérifient mutuellement, ce qui donne un grand degré de certitude à toutes mes interprétations.

CHAPITRE IV

LA CHRONAXIE CHEZ LE NOUVEAU-NÉ SON ÉVOLUTION AU COURS DU DÉVELOPPEMENT

Étant donnés les rapports étroits qui unissent la chronaxie des muscles et des nerfs à leurs fonctions, il paraissait probable qu'à la naissance, la chronaxie des nouveau-nés devait différer notablement de celle de l'adulte. Il était utile, cependant, de s'en assurer. Avec la collaboration de G. Banu et H. Laugier, j'ai étudié cette question chez l'Homme. Je serai bref sur elle, car elle a fait l'objet de la thèse de G. Banu qui y a exposé en détail nos expériences. Je renvoie donc à ce travail pour la documentation. Je me bornerai, ici, à rappeler les grandes lignes des résultats de ces recherches et les conclusions auxquelles elles ont abouti¹. Il va sans dire qu'il est un peu plus long et plus difficile de faire des mesures précises chez l'enfant que chez l'adulte. Cependant, avec de la patience et un peu d'habitude, on arrive à de très bons résultats.

Nous avons d'abord montré qu'à la naissance la chronaxie est toujours plus grande que chez l'adulte, de 4 1/2 à 10 fois environ. L'écart entre la chronaxie de l'adulte et celle du nouveau-né est d'autant plus grand qu'il s'agit d'un muscle ayant, chez l'adulte, une chronaxie plus petite. En outre, les différences entre la chronaxie des muscles antérieurs et celle des muscles postérieurs sont moins accusées à la naissance que chez l'adulte. Enfin, les chronaxies du segment proximal sont plus grandes que celles du segment distal, contrairement à ce qui se passe chez l'adulte. Il n'y a qu'à regarder un bébé dans son berceau pour voir qu'il y a un lien entre ce fait et l'attitude qu'il prend : il conserve les bras et les cuisses presque immobiles et ne remue que ses petits doigts et ses petits orteils.

Voici, pour fixer les idées, quelques chronaxies comparées à la naissance et chez l'adulte, pour quelques muscles pris dans chacun des groupes des membres.

1. G. BANU, G. BOURGUIGNON et H. LAUGIER. La chronaxie chez le nouveau-né. *C. R. Soc. Biol.*, t. LXXXV, p. 49, 11 juin 1921. — G. BANU et G. BOURGUIGNON. Évolution de la chronaxie des nerfs et muscles du membre supérieur chez le nouveau-né. *C. R. Soc. Biol.*, t. LXXXV, p. 349, 16 juillet 1921. — G. BANU, *loc. cit.* Thèse de la Fac. des Sciences de Paris.

TABLEAU XIII

**Chronaxies normales des points moteurs
des principaux muscles des membres à la naissance.**

MUSCLES		GROUPE	CHRONAXIE	
			CHEZ LE NOUVEAU-NÉ	CHEZ L'ADULTE
1° Membre supérieur	Delhoïde.	N° 1	1 σ ,40	0 σ ,08 à 0 σ ,46
	Biceps			
	Vaste externe.	N° 2	1 σ	0 σ ,20 à 0 σ ,28
	Fléchiss. prof. des doigts. . .	N° 3	0 σ ,50	0 σ ,24 à 0 σ ,36
	Extenseur commun des doigts.	N° 4	0 σ ,70	0 σ ,44 à 0 σ ,72
2° Membre inférieur	Vaste externe de la cuisse. . .	N° 1	1 σ ,50	0 σ ,40 à 0 σ ,46
	Long péronier latéral.	N° 2	0 σ ,70	0 σ ,28 à 0 σ ,36
	Jumeau interne.	N° 3	4 σ	0 σ ,44 à 0 σ ,72

La différenciation musculaire est donc beaucoup moins poussée chez le nouveau-né dont les muscles sont à la fois moins rapides et moins différents entre eux que ceux de l'adulte. La loi de la classification fonctionnelle des muscles par la chronaxie se retrouve donc chez le nouveau-né comme chez l'adulte ; et, cette fois encore, mes nouvelles recherches confirment les conclusions tirées de mes premiers travaux.

Ces conclusions sont encore confirmées par l'étude de l'évolution de la chronaxie depuis la naissance jusqu'au moment où l'enfant a acquis les chronaxies de l'adulte. C'est avec la collaboration de G. Banu que j'ai fait cette étude pour le membre supérieur¹.

Nous avons d'abord espéré pouvoir suivre quelques enfants depuis leur naissance jusqu'à l'âge où leurs chronaxies sont celles de l'adulte. Mais nous avons dû renoncer à ce projet à cause de la difficulté d'obtenir des mères qu'elles nous confient leurs enfants pour les examiner plus d'une ou deux fois.

Nous avons alors opéré autrement. Grâce à l'obligeance de M. le Dr Le Lorier et de M. le Pr Marfan, que je remercie vivement, nous avons pu disposer d'enfants normaux d'âges variés depuis trois jours après la naissance jusqu'à environ 20 mois. Deux de mes enfants nous ont donné les chronaxies qui nous manquaient : celles du 4^e mois et celles du 20^e mois.

Nous avons ainsi pu construire la courbe de l'évolution de la chronaxie de 4 muscles-types, pris dans chacun des 4 groupes de chronaxies adultes (voir fig. 24). Pour les nerfs, nous n'avons pu étudier

1. G. BANU et G. BOURGIGNON. *Soc. de Biologie*, 16 juillet 1921. — G. BANU. *Thèse de la Faculté des Sciences de Paris*, 1922.

que le radial et le médian ou le cubital, c'est-à-dire les nerfs innervant les muscles du 3^e et du 4^e groupe. Pour les deux premiers groupes (biceps, triceps), il nous a été impossible de réussir la mesure de la chronaxie de leurs racines dans le creux sus-claviculaire, seule région où l'on puisse exciter par leurs nerfs les muscles du bras.

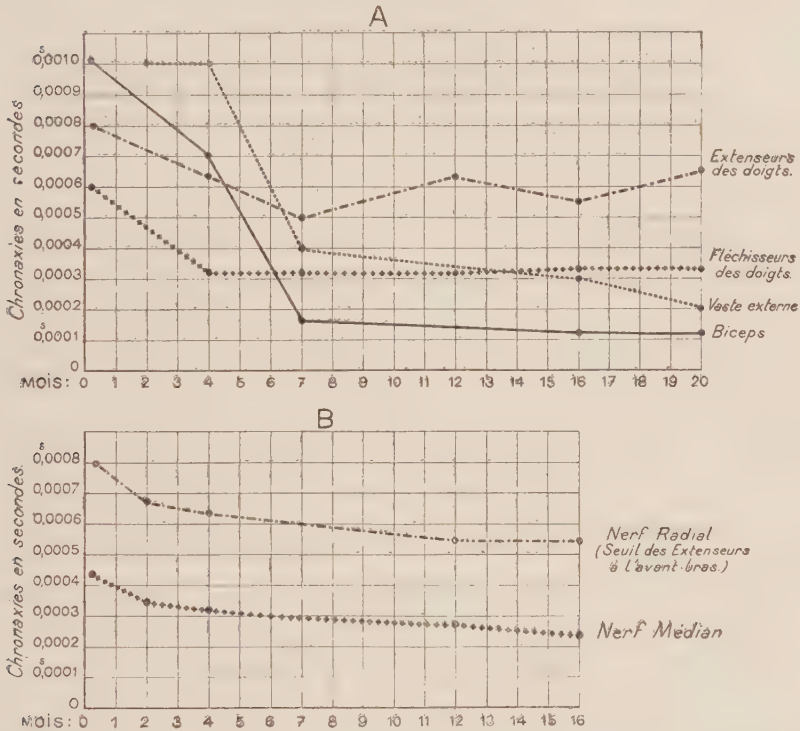


FIG. 24. — ÉVOLUTION DE LA CHRONAXIE DES NOUVEAU-NÉS (Membre supérieur)
 A. Chronaxie des points moteurs des muscles.
 B. Chronaxie des nerfs médian et radial.

Les courbes de la figure 24 montrent mieux que toute description cette évolution.

On y voit que la courbe des muscles du bras commence à croiser celle des muscles de l'avant-bras au 6^e mois, en même temps que les différences entre les muscles antérieurs et postérieurs s'accroissent de plus en plus. Les muscles du bras évoluent ensuite lentement et n'atteignent les valeurs de l'adulte qu'entre le 16^e et le 20^e mois. Au contraire, les chronaxies des muscles de l'avant-bras sont les mêmes que chez l'adulte dès le 7^e mois.

Les muscles qui seront les plus rapides chez l'adulte sont donc les moins différenciés, les plus lents, à la naissance et mettent le plus de temps à faire leur évolution.

Pour les nerfs, leur évolution est beaucoup plus rapide que celle des muscles au point moteur. Leur chronaxie est très voisine de celle de l'adulte à la naissance puisque le radial (pour les extenseurs) a une chronaxie de 0,80 chez le nouveau-né alors qu'il a une chronaxie comprise entre 0,44 et 0,72 chez l'adulte, et le médian a une chronaxie d'environ 0,40 à 0,45 chez le nouveau-né, alors que sa chronaxie varie de 0,24 à 0,36 chez l'adulte. Aussi, dès le 2^e mois, les nerfs ont-ils des chronaxies égales à celles de l'adulte (voir fig. 24).

L'enfant présente donc encore cette particularité d'avoir un hétérochronisme entre le nerf et le point moteur du muscle au lieu d'avoir l'isochronisme de l'adulte. Cet hétérochronisme disparaît au cours de l'évolution.

Il est remarquable que l'hétérochronisme disparaît peu à peu et que les muscles prennent la chronaxie de l'adulte entre le 7^e et le 16^e mois ou le 20^e, c'est-à-dire exactement pendant la période dans laquelle l'enfant commence à chercher à se mettre debout et à marcher. Tous les enfants normaux marchent, au plus tard entre le 16^e et le 20^e mois. Tous les enfants normaux ont toutes leurs chronaxies égales à celles de l'adulte à ce moment.

Enfin, nos résultats sont d'accord avec tous les travaux des auteurs qui ont étudié l'histologie évolutive du nerf et du muscle : on sait, en effet, que le développement histologique des nerfs est plus rapide que celui des muscles et est terminé entre 5 et 6 semaines.

Ces recherches sur l'évolution de la chronaxie chez l'enfant confirment donc toutes les lois générales que j'ai données. On comprend l'intérêt physiologique très grand que présente l'étude de la chronaxie chez l'enfant et chez l'adulte.

Cette étude présente, en outre, l'intérêt de donner la valeur normale de la chronaxie aux différents âges et de fournir ainsi un terme de comparaison précis dans l'étude des états pathologiques neuromusculaires de l'enfant. On comprend donc toute la valeur de ces recherches au point de vue pratique.

CHAPITRE V

CHRONAXIE NORMALE DU SCIATIQUE CHEZ LE CHIEN

Il serait évidemment du plus grand intérêt de vérifier si les lois que l'étude de l'Homme met en évidence se retrouvent chez les animaux et, en particulier, chez les animaux homœothermes. Cette recherche serait très utile non seulement au point de vue de la connaissance du fonctionnement normal du système nerveux, mais encore au point de vue de la pathologie expérimentale.

Aussi, avais-je amorcé quelques recherches dans ce sens, que les circonstances ne m'ont pas permis de poursuivre, mais qu'il est dans mon programme de reprendre à brève échéance.

Si je n'ai pas poussé mes recherches suffisamment loin pour dire que la classification fonctionnelle existe chez le Chien, elles m'ont donné cependant des résultats, dans un ordre d'idées voisin, assez intéressants pour que je les expose et les mette en parallèle avec les résultats obtenus chez l'Homme. Dans le même sens, G. Banu, à propos de ses recherches sur l'évolution de la chronaxie au cours du développement du Lapin, a étudié la chronaxie des principaux muscles de cet animal adulte et il y a retrouvé, quoique avec moins de netteté, la classification fonctionnelle des muscles par la chronaxie que je viens d'exposer chez l'Homme.

Si donc la question de la classification des muscles des mammifères autres que l'Homme n'est encore que très peu étudiée, les résultats obtenus sont cependant suffisants pour qu'on puisse dire qu'il est plus que probable que les lois trouvées chez lui s'appliquent à ces animaux et pour qu'il y ait lieu de poursuivre les recherches dans ce sens.

Aussi me paraît-il intéressant de rapporter les quelques expériences que j'ai faites en 1914 avec A. Barré sur le Chien.

A. — Expériences.

Ces expériences sur le Chien, qui sont restées inédites jusqu'ici, ont toutes porté sur le nerf sciatique, en prenant les jumeaux comme témoins de l'excitation. Dans ces recherches commencées avant que j'aie mis au point la technique de la mesure de la chronaxie par excitation percutanée, j'ai opéré sur le nerf disséqué, suivant la technique que j'ai décrite en étudiant la loi d'excitation chez le Chien.

Ces expériences ont porté sur quatre chiens.

En mesurant la chronaxie du sciatique de ces 4 chiens, j'ai trouvé deux valeurs différentes, 0 σ ,40 environ chez deux animaux et 0 σ ,10 chez les deux autres.

Devant un tel écart, j'ai cru d'abord à des erreurs d'expériences. Pour m'en rendre compte, j'ai contrôlé la mesure directe de la chronaxie en faisant des lois de Hoorweg sur trois de ces chiens. Les graphiques obtenus (voir les fig. 25, 26, 27 et 28) ne laissent aucun doute sur la réalité de cet écart entre les chronaxies du sciatique de ces deux groupes de chiens.

Il s'agit seulement d'en trouver la raison. Avant d'entrer dans l'étude de ce problème, il faut remarquer que ces 4 chiens étaient de provenance différente. Deux d'entre eux, les chiens 1 et 4, étaient des chiens de rue quelconques, sans race bien déterminée. Les deux autres, les chiens 2 et 3, étaient deux petits fox de la même portée, dont je connaissais l'origine. Or, ce sont les chiens de rue qui avaient la chronaxie de 0 σ ,40 et les fox qui avaient la chronaxie de 0 σ ,10.

Voici les expériences qui établissent ces faits.

I. — **Chien 1.** — *Expérience du 15 mai 1914.* — Petit chien griffon. Patte postérieure gauche, section du crural dans l'épaisseur du muscle iliaque et du sciatique à l'échancrure, pour obtenir un bon relâchement de l'animal. Ces sections produisent l'abolition des réflexes rotuliens et achilléens à gauche et la flaccidité complète de la jambe et de la cuisse gauches.

Ensuite le sciatique est disséqué à la cuisse pour l'excitation. — Méthode bipolaire. — Électrodes de d'Arsonval-Lapicque placées aussi loin que possible l'une de l'autre sur le nerf disséqué et isolé par une feuille de caoutchouc sur laquelle il repose. — Mise à l'abri de la dessiccation par fermeture provisoire de l'incision. — Seuils pris sur les jumeaux. — Décharges de condensateurs. — Montage de Lapicque.

Circuit général.	7 000 ω
Shunt.	3 000 ω
Branche du sujet.	10 000 ω
Courant descendant.	$\tau = RC \times 0,37$ $R = 10\,000 \omega$.

Il n'a été fait que des mesures directes de chronaxie,

	RHÉOBASE		CHRONAXIE	
	VOLTAGE	INTENSITÉ	C τ	τ
1 ^{re} mesure.	3 v,2	0 mA,25	0 mf,44	0 σ ,41
2 ^e —	1 v,7	0 mf,14	0 mf,13	0 σ ,48
3 ^e —	2 v,2	0 mf,95	0 mf,11	0 σ ,41

La chronaxie de ce chien est donc comprise entre 0 σ ,41 et 0 σ ,48.

La température a été prise dans la plaie autour du nerf, au début et à la fin de l'expérience. Elle n'a que très peu varié :

Au début, $T^0 = 37^0$
A la fin, $T^0 = 36^0,5$.

II. — **Chien II.** — *Petit fox d'environ 5 kilos 500.* — L'expérience a été faite d'abord sur la patte gauche, puis, deux jours après, sur la patte droite.

1. *Expérience du 18 mai 1914.* — **Patte postérieure gauche.** — Pas d'anesthésie. — Section du crural dans le psoas-iliaque et du sciatique à l'échancrure. — Abolition des réflexes achilléen et rotulien.

Découverte du tronc du sciatique à la cuisse pour l'excitation.

• Température prise dans la plaie :

Au début de l'expérience : 38 ^{0,5}
A la fin de l'expérience : 36 ^{0,5} .

Même technique d'excitation que ci-dessus.

1 ^{o} Mesures directes de la chronaxie. Rhéobase mesurée avec le courant continu.

	RHÉOBASE EN VOLTS	CHRONAXIE	
		C τ	τ
1 ^re mesure	2 v,5	0 mf,03	0 σ ,11
2 ^{e} —	3 v,4	0 mf,02	0 σ ,08
3 ^{e} —	3 v,1	0 mf,02	0 σ ,08

2 ^{o} Loi de Hoorweg (voir fig. 25). — Voltages liminaires pour des capacités croissantes.

CAPACITÉS EN MICROFARADS	VOLTAGES EN VOLTS	QUANTITÉS EN MICROCOULOMBS
0 mf,01	7 v,5	0 mc,075
0 mf,02	6 v,3	0 mc,136
0 mf,05	5 v,2	0 mc,260
0 mf,10	4 v,7	0 mc,470
0 mf,20	4 v,4	0 mc,880
0 mf,50	3 v,4	1 mc,700
1 mf	3 v,2	3 mc,200
2 mf	3 v,5	7 mc
3 mf	3 v,4	10 mc,2

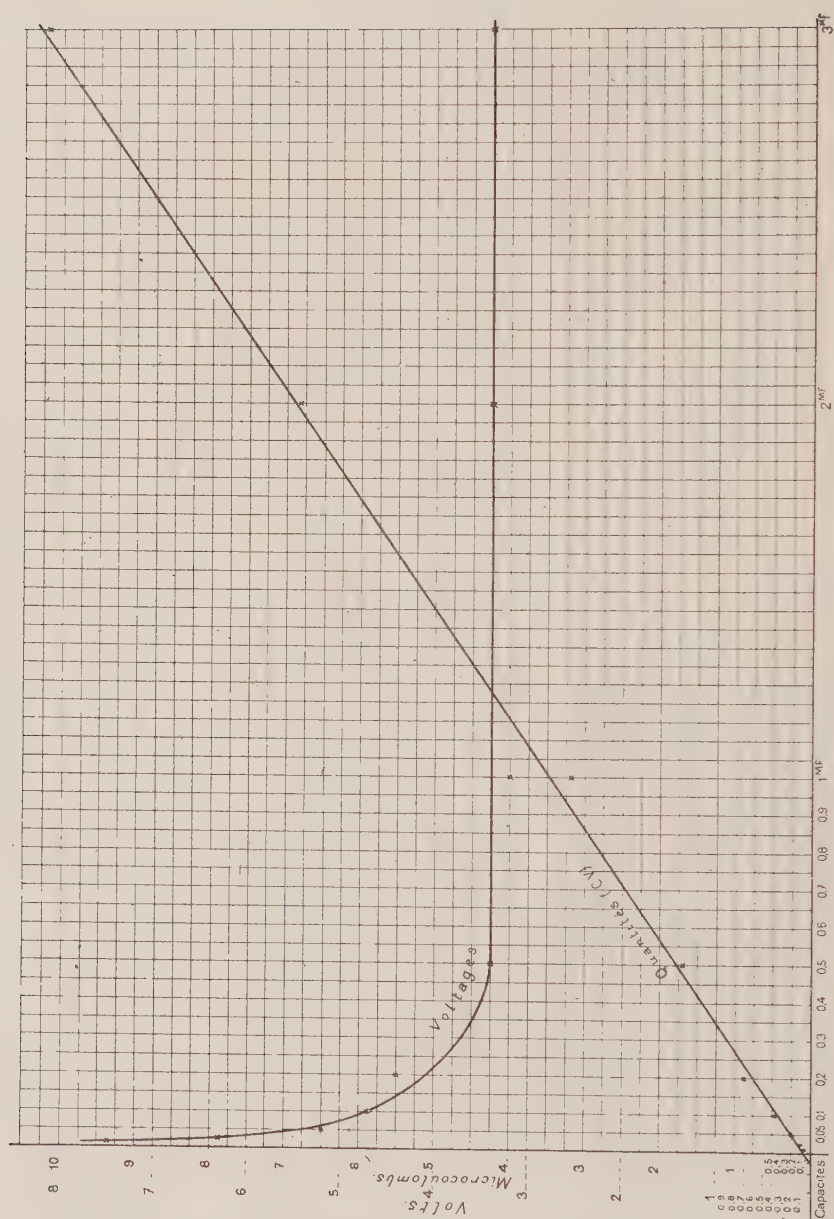


Fig. 25. — LOI DE HOORWEG. — CHIEN II.
Nerf sciatique gauche. Seuils des jumeaux.

Expérience du 18 mai 1914.

$$a = 0 \text{ mc}, 075 \quad b = 3 \text{ v}, 4 \quad \frac{a}{b} = 0 \text{ mf}, 05 \quad \tau = 0 \text{ s}, 11$$

BASES DES MESURES DES CONSTANTES	a	b	$\frac{a}{b}$	τ
Sur la construction graphique.	0 ^{mc} ,075	3 v,4	0 ^{mf} ,03	0 σ ,11
Calculées entre 2 mf et 0 mf,05.	0 ^{mc} ,090	3 v,4	0 ^{mf} ,026	0 σ ,10

Que la chronaxie soit déterminée sur le graphique ou calculée ou mesurée directement, elle a toujours été comprise entre 0 σ ,08 et 0 σ ,11.

2. *Expérience du 20 mai 1914.* — **Patte postérieure droite.** — Même préparation de l'expérience que du côté gauche. — Même technique de mesure de la chronaxie.

Les réflexes rotuliens et achilléens sont abolis après les deux sections nerveuses.

Température dans la plaie :

Au début de l'expérience : 39° 5

A la fin de l'expérience : 38°.

1^o **Mesures directes de la chronaxie.** — **Rhéobase mesurée avec le courant continu.**

	RHÉOBASE EN VOLTS		CHRONAXIE	
	PREMIÈRE MESURE	VÉRIFICATION	C τ	τ
1 ^{re} mesure.	3 v,3	3 v 3	0 mf,03	0 σ ,11
2 ^e —	3 v,3	3 v,4	0 mf,04	0 σ ,15
3 ^e —	3 v,5	3 v,5	0 mf,03	0 σ ,11
4 ^e (après l'établissement de la loi).	2 v,2		0 mf,035	0 σ ,14

2^o **Loi de Hoorweg.** — **Voltage liminaire pour des capacités croissantes (voir fig. 25).**

CAPACITÉS EN MICROFARA S	VOLTAGES EN VOLTS	QUANTITÉS EN MICROCULOMBES
0 mf,01	6 v,9	0 mc,069
0 mf,03	5 v	0 mc,150
0 mf,04	4 v,6	0 mc,184
0 mf,05	4 v,3	0 mc,215
0 mf,10	3 v,3	0 mc,330
0 mf,20	3 v,2	0 mc,640
0 mf,50	2 v,5	1 mc,250
2 mf	2 v,5	5 mc
Courant continu	2 v,2	

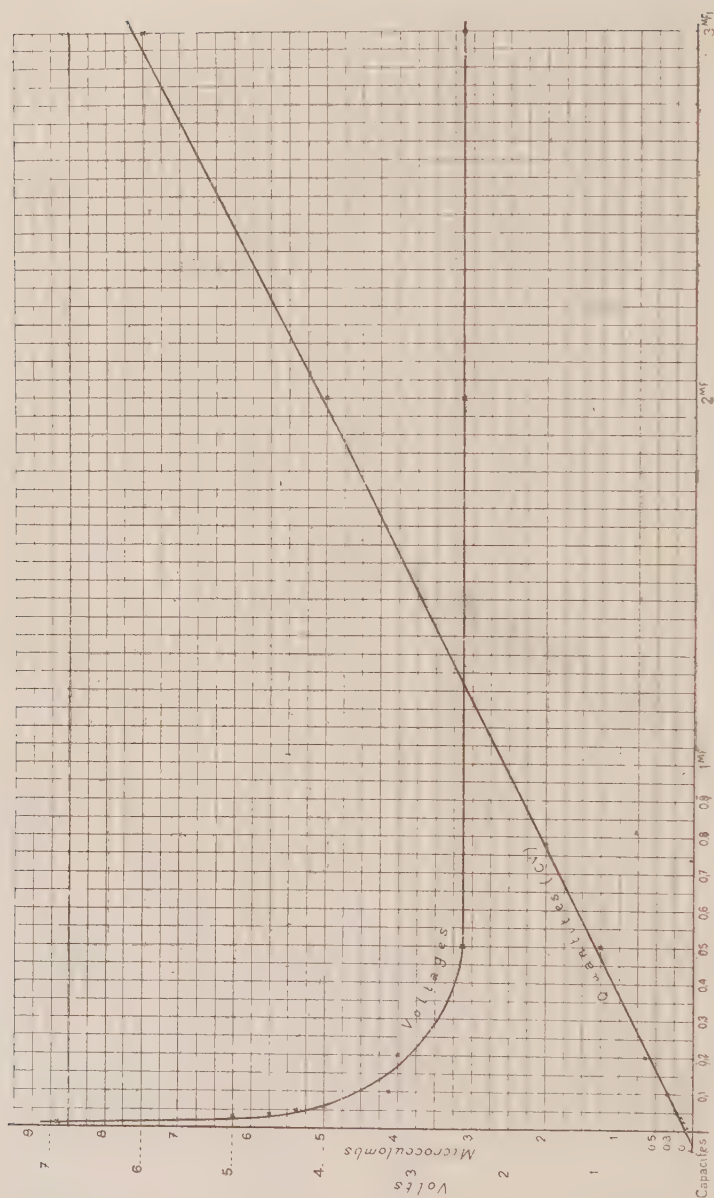


FIG. 26. — LOI DE HOORWEG. — Même chien que dans la figure 25.
Nerf sciatique droit.

Expérience du 20 mai 1914.

$$a = 0 \text{ mc. } 075 \quad b = 2 \text{ v. } 5 \quad \frac{a}{b} = 0 \text{ mf. } 03 \quad \tau = 0 \text{ s. } 11.$$

BASES DES MESURES DES CONSTANTES	<i>a</i>	<i>b</i>	$\frac{a}{b}$	τ
Sur la construction graphique	0 ^{me} ,075	2 v,5	0 ^{me} ,03	0 σ,11
Calculées entre 0 mf,2 et 0 mf,05	0 ^{me} ,075	2 v,8	0 ^{me} ,027	0 σ,10
Moyenne des mesures directes de chronaxie.			0 ^{me} ,035	0 σ,14

On trouve donc, sur la patte droite, la même chronaxie pour le sciatique qu'à gauche.

III. — **Chien III.** — *Expérience du 25 mai 1914.* — Petite chienne de 5 kilos 400. Fox de la même portée que le chien II. — Patte gauche.

Même préparation de l'expérience et même technique d'excitation que dans les précédentes expériences.

Température prise dans la plaie :

Au début de l'expérience : 35°,2

A la fin de l'expérience : 34°,3.

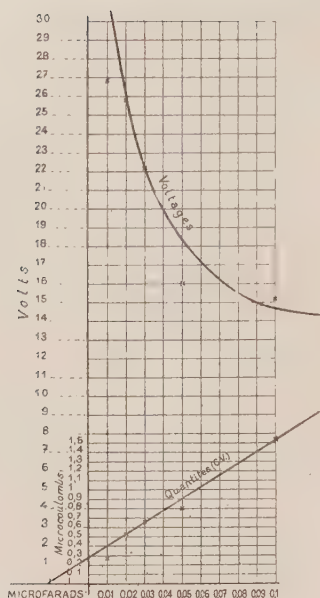
1^{re} Mesures directes de la chronaxie. — Rhéobase mesurée avec le courant continu.

	RHÉOBASE EN VOLTS	CHRONAXIE	
		C τ	τ
1 ^{re} mesure	10 v,1	0 mf,03	0 σ,11
2 ^e —	10 v	0 mf,03	0 σ,11

2^o Lois de Hoorweg (voir fig. 27).

C EN MICROFARADS	V EN VOLTS	CV EN MICROCOULOMBES
0,01	26,8	0,268
0,02	25,9	0,518
0,03	22,1	0,663
0,05	16	0,800
0,10	15,1	1,510

Voltages liminaires (V), pour capacités croissantes (C).



Sur la construction graphique :

$$a = 0 \text{ mc}, 34 \quad b \text{ calculé} = 10 \text{ v. } 9$$

$$\frac{a}{b} = 0 \text{ mf}, 031 \quad \tau = 0 \sigma, 11.$$

Calculs entre 0 mf, 3 et 0 mf, 4 :

$$a = 0 \text{ mc}, 847 \quad b = 12 \text{ v. } 2$$

$$\frac{a}{b} = 0 \text{ mf}, 027 \quad \tau = 0 \sigma, 09.$$

FIG. 27.

LOI DE HOORWEG. CHIEN III.

Nerf sciatique gauche.

Seuil des jumeaux.

Expérience du 23 mai 1914.

$$a = 0 \text{ mc. } 34 \quad b = 10 \text{ v. } 9$$

$$\frac{a}{b} = 0 \text{ mf. } 031 \quad \tau = 0 \sigma, 11.$$

La chronaxie est donc la même chez le chien III que chez le chien II.

IV. — **Chien IV.** — *Expérience du 1^{er} juin 1914.* — Chien de 9 kilos, sans race déterminée. C'est le chien dont il a été question dans la première partie de ce travail. On trouvera tous les détails de l'expérience pages 130 et 131. L'expérience est d'ailleurs conduite exactement de la même manière que toutes les précédentes. — Patte postérieure droite. — Nerf sciatique. — Seuils des jumeaux.

1^o Mesures directes de la chronaxie.

		RHEOBASE EN VOLTS	CHRONAXIE	
			Cl	t.
1 ^{re} mesure	Rhéobase en courant continu.	5 v. 6	0 mf. 12	0 σ. 44
2 ^e —	Rhéobase avec 10 mf.	4.3	0.11	0.41
3 ^e —	Rhéobase en courant continu.	4.5	0.10	0.37

2^o Loi de Hoorweg.

Les mesures directes de chronaxie donnant des valeurs différentes de celles qu'on avait trouvées chez les chiens II et III, mais

semblables à celles qu'on avait trouvées chez le chien I, je contrôle ces mesures en faisant une loi de Hoorweg.

Les chiffres de cette loi ont été donnés à la page 132. J'y renvoie. Je reproduis seulement ici le graphique et les résultats de la mesure de la chronaxie en la tirant du graphique et en la calculant entre deux points de la droite. Le graphique de cette expérience est très régulier (voir fig. 28).

BASES DES MESURES DES CONSTANTES	a	b	$\frac{a}{b}$	τ
Sur la construction graphique. .	0 mc,44	4 v,4	0 mf,11	0 σ ,41
Calculs entre 0 mf,05 et 1 mf. . .	0 mc,565	4 v,4	0 mf,12	0 σ ,44

3° Mesure directe à la fin de l'expérience.

Rhéobase en courant continu.

$$b = 4 \text{ v. } 3$$

$$C\tau = 0 \text{ mf, } 11 \quad \tau = 0 \text{ } \sigma, 41.$$

La loi de Hoorweg confirme donc l'exactitude des mesures directes.

B. — Discussion et interprétations.

Le fait de la différence de la chronaxie du sciatique des deux fox, comparée à celle du sciatique des deux autres chiens, est donc bien établi.

Quelle est la signification de ces écarts?

On peut faire, à ce sujet, plusieurs hypothèses.

Première hypothèse. — Les différences pourraient être liées simplement aux conditions des expériences.

Ainsi, depuis les travaux de L. Lapique¹ et ses élèves, nous savons que la température a une influence très nette sur la chronaxie qui diminue quand la température s'élève.

C'est en raison de ce fait que j'ai pris la précaution de mesurer la température locale au voisinage du nerf au début et à la fin de l'expérience. Un thermomètre était porté dans la plaie, au voisinage du nerf, et les lèvres de l'incision étaient rapprochées autour du thermomètre pour mettre le réservoir du thermomètre et les tissus à l'abri du refroidissement par le contact avec l'air extérieur.

Cette observation était d'autant plus utile à faire que, depuis les

1. L. LAPIQUE et G. FILON. Variations de la vitesse d'excitabilité avec la température. *C. R. de la Soc. de Biologie*, t. LXVIII, p. 925, 28 mai 1910.

expériences fondamentales de Claude Bernard sur la chaleur animale, on sait que, chez les animaux homéothermes, la section des nerfs

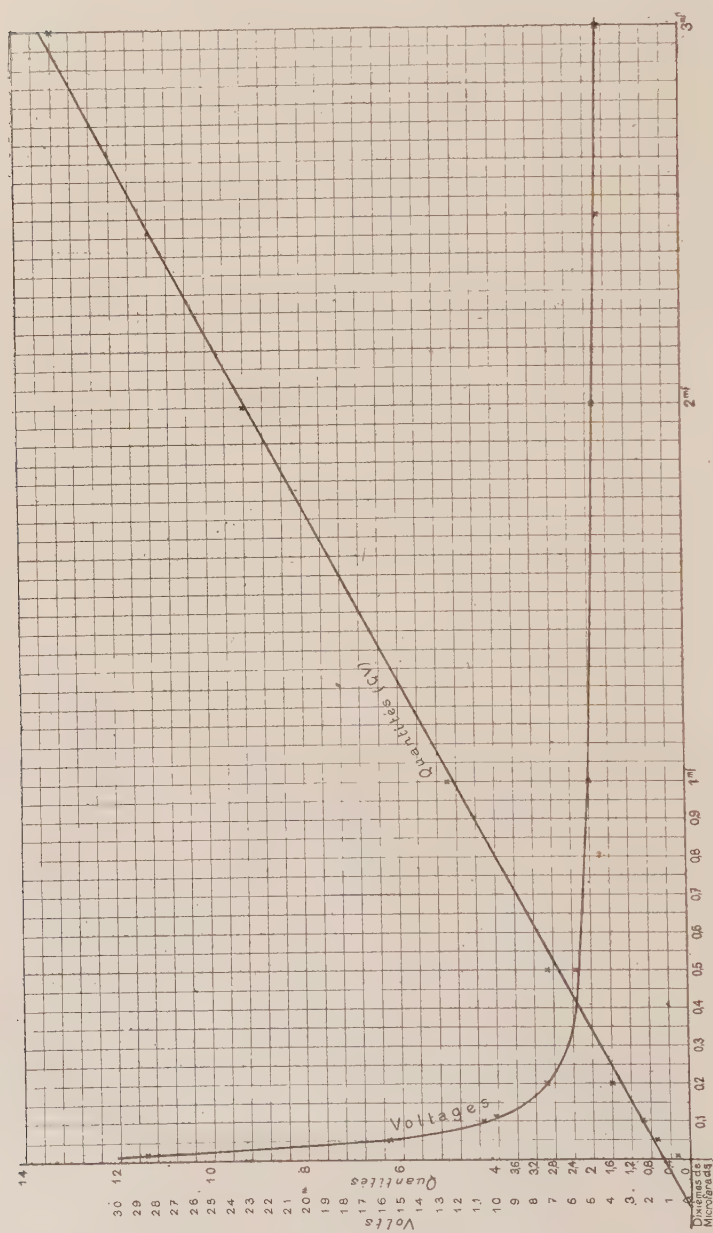


Fig. 28. — Loi de Hoorweg. CHEN IV. — Nerf sciatique droit. Seils des jumeaux.
Expérience du 1^{er} juin 1914.

$$a = 0 \text{ mc. } 44 \quad b = 4 \text{ v. } 4 \quad \frac{a}{b} = 0 \text{ mf. } 11 \quad \tau = 0 \text{ s. } 41.$$

produit une élévation de température dans le membre dont les nerfs ont été sectionnés. De fait, nous avons toujours constaté que la patte

du côté opéré devenait plus chaude que la patte du côté opposé une dizaine de minutes environ après la section.

Mais cette élévation de température n'est que relative, car nous avons observé une chute assez importante de la température générale après la section, bien mise en évidence lorsque nous avons pris cette température avant la section des nerfs et aussitôt après.

D'autre part, l'expérience ayant une certaine durée, il se produit toujours un certain refroidissement local et général pendant l'expérience, ce qui était à prévoir.

Pendant la comparaison des variations de la température locale et générale pendant ces expériences avec la chronaxie met hors de cause la température comme facteur des écarts de chronaxie observés.

Il suffit, pour s'en convaincre, d'examiner le tableau suivant :

CHIENS	DATES DES EXPÉRIENCES	COTÉ	TEMPÉRATURE GÉNÉRALE					TEMPÉRATURE		CHRO- NAXIE
			BUCCALE		RECTALE			LOCALE		
			Début de l'expérience — APRÈS LA SECTION	FIN DE L'EXPÉ- RIENCE	DÉBUT DE L'EXPÉRIENCE		FIN DE L'EXPÉ- RIENCE	DANS LA PLAIE		
					AVANT LA section	APRÈS LA section		DÉBUT DE L'EXPÉRIENCE	FIN DE L'EXPÉRIENCE	
Chien I	15 mai 1914	gauche						37	36,5	0,41 à 0,48
— II	18 — 1914	gauche	37,5	36				38,5	36,5	0,08 à 0,11
	20 — 1914	droit			40			39,5	38	0,10 à 0,14
— III	25 — 1914	gauche				36,9	38	35,2	34,3	0,09 à 0,11
— IV	1 ^{er} juin 1914	droit			38,5	37,5	35,7	37,3		0,40 à 0,44

L'animal est maintenu dans une couverture de laine.

Remarquons d'abord que l'écart des chronaxies de $0\sigma,08$ — $0\sigma,11$ à $0\sigma,40$ — $0\sigma,48$, soit dans le rapport de 1 à 4, est beaucoup plus important que celui que L. Lapique et G. Filon¹ ont observé dans leurs expériences sur la grenouille : le rapport des chronaxies est inférieur à 2 pour des différences de température de 10° c'est-à-dire pour des variations beaucoup plus considérables que celles de mes expériences.

Mais même si les écarts entre les chronaxies ne dépassaient pas ce que peuvent déterminer des différences de température de 3° à 4° centigrades, il serait encore impossible de les attribuer à ce facteur.

En effet, les chronaxies de $0\sigma,08$ à $0\sigma,11$ ont été observées chez les

1. L. LAPIQUE et G. FILON, *loc. cit.*

deux animaux qui ont eu la température la plus haute et la plus basse, de 39°5-38° dans un cas et 35°2-34°3 dans l'autre cas.

D'autre part, dans les expériences faites sur les deux pattes chez le même animal, la chronaxie a été la même; cependant la température, locale et générale, a été une fois du même ordre de grandeur que chez les deux autres chiens et une fois notablement plus élevée.

Enfin, nous avons cherché à éviter le refroidissement chez le chien IV en le maintenant, pendant toute l'expérience, dans une couverture de laine. Nous avons observé, malgré cela, la même chronaxie que chez le chien I, soit 0σ, 40 à 0σ, 44.

Il n'y a donc, dans ces expériences, aucun rapport entre la température de l'animal, soit locale, soit générale, et la chronaxie.

Il faut donc chercher une autre explication.

Deuxième hypothèse. — Puisqu'on ne peut expliquer par les différences de température dues aux particularités de chaque expérience (fièvre au moment de la 2^e opération chez le chien II, consécutive à la première opération qui n'était pas rigoureusement aseptique, hypothermie en rapport avec un état syncopal qui s'est produit à la section du crural chez le chien III, etc...), c'est à des différences fondamentales d'excitabilité qu'il faut attribuer la différence des chronaxies.

Or, les fox sont des chiens, on le sait, particulièrement vifs et rapides. Il n'est pas impossible que la vivacité qu'on remarque dans leur manière d'être générale se traduise par une rapidité fonctionnelle très grande que décèle la petitesse de la chronaxie.

Si ce fait se retrouvait chez d'autres sujets de la même race d'une manière constante, on pourrait considérer que la petite chronaxie, comparativement à celle d'autres chiens, est un caractère général de la race des fox.

Troisième hypothèse. — Il se pourrait, enfin, qu'on ait affaire simplement à un cas particulier et que la petite chronaxie des chiens II et III soit, non pas l'attribut d'une race, mais celui d'individus. Les deux chiens étant de la même portée, il ne serait pas étonnant que ces deux animaux aient des caractères communs.

A laquelle des deux dernières hypothèses se rattacher? Il est bien certain que c'est l'expérience seule qui aura le dernier mot. Mais en l'attendant, on peut se demander au moins laquelle des deux dernières hypothèses est la plus vraisemblable.

Comparons donc ce qui se passe chez mes chiens avec ce qui se passe chez l'Homme.

Chez l'Homme, j'ai montré, dans les pages qui précèdent, qu'il n'y a pour ainsi dire pas de différences individuelles de chronaxie. Et cependant, les individus de l'espèce humaine sont plus différenciés les uns des autres que les individus des espèces animales. Il paraît

donc bien peu probable que la chronaxie de différents individus, non seulement de la même espèce, mais de la même race, puisse varier dans le rapport que nous avons trouvé.

Mais, entre les différentes races de chiens, il y a certainement beaucoup plus de différences qu'entre les différents individus de l'espèce humaine.

Il me semble donc plus vraisemblable de penser que la différence des chronaxies observée entre nos deux groupes de chiens traduit des différences de races plutôt que des différences individuelles.

C'est alors dans les qualités générales du système neuro-musculaire de chaque race qu'il faudrait chercher la raison des différences de chronaxie observées pour un même système neuro-musculaire.

Les faits que j'ai observés rentreraient donc dans la loi générale du rapport de la chronaxie avec les fonctions et feraient penser qu'on doit trouver la classification fonctionnelle des muscles par la chronaxie chez le Chien.

Les expériences que je viens d'analyser sont bien plutôt des expériences qui posent des problèmes que des expériences qui en résolvent et c'est en cela qu'elles me paraissent intéressantes.

Le problème des variations de la chronaxie suivant les races, dans une même espèce, est ainsi posé. Il peut y avoir un intérêt pratique à l'étudier, au moins chez certaines catégories d'animaux domestiques. Peut-être, en étudiant, aura-t-on en outre la bonne fortune de rencontrer des faits d'un intérêt plus général.

Ces expériences sur le Chien montrent qu'en tout cas on peut obtenir, chez les animaux homéothermes, des mesures aussi précises que sur les nerfs et muscles isolés des hétérothermes, malgré les variations importantes de température qu'apportent, chez l'animal homéotherme, les conditions de l'expérience sur le nerf disséqué.

La possibilité qu'il y a maintenant de faire des expériences sans inciser la peau étendra beaucoup le champ des recherches sur les mammifères.

Les quatre chiens dont je viens d'étudier la chronaxie normale m'ont d'ailleurs servi à poser les premiers jalons de l'étude de la dégénérescence expérimentale.

RÉSUMÉ

De cette étude de la chronaxie normale de l'Homme, il résulte que la mesure de la chronaxie à travers les téguments est d'une précision remarquable et qu'en prenant les précautions nécessaires elle donne toute garantie de certitude.

Il ressort aussi, en toute évidence, que les lois de la distribution de la chronaxie sont les mêmes pour toutes les régions du corps et que

ce sont les fonctions musculaires qui sont à la base de tout le système. Nous avons ainsi amassé des matériaux utiles à l'étude de la physiologie du système nerveux.

La valeur fonctionnelle des nerfs et des muscles est donc exactement connue par la mesure de la chronaxie. Cette notion transporte sur le terrain de la physiologie, qu'elle n'aurait jamais dû quitter, l'étude des modifications pathologiques de l'excitabilité.

A l'interprétation anatomique d'Erb et ses successeurs, nous devons donc substituer une interprétation physiologique des altérations de l'excitabilité. C'est de ce point de vue que je vais maintenant étudier les variations pathologiques de la chronaxie : vue de cette manière, l'étude de la pathologie est des plus fécondes en notions utiles à la physiologie.

TROISIÈME PARTIE

VARIATIONS PATHOLOGIQUES
ET EXPÉRIMENTALES
DE LA CHRONAXIE CHEZ L'HOMME

TROISIÈME PARTIE

VARIATIONS PATHOLOGIQUES ET EXPÉRIMENTALES DE LA CHRONAXIE CHEZ L'HOMME

CHAPITRE I

VARIATIONS PATHOLOGIQUES

Les rapports entre la chronaxie et les fonctions des nerfs et des muscles à l'état normal sont si étroits qu'il est facile de comprendre que la moindre modification fonctionnelle doit se traduire par une modification de la chronaxie.

L'expérience montre, en effet, que la chronaxie est d'une sensibilité remarquable non seulement aux moindres troubles, siégeant dans les neurones moteurs périphériques et les muscles, mais encore à ceux qui accompagnent toutes les lésions du système nerveux central.

L'étude de la chronaxie nous conduit à modifier le point de vue sous lequel il faut considérer les troubles des réactions électriques en général. Depuis Erb, les auteurs classiques ont cherché à établir un rapport entre l'état *anatomique* des nerfs et des muscles et les *réactions électriques*. Ce point de vue doit être radicalement abandonné. L'excitabilité, aussi bien que la forme de la contraction, sont des *propriétés exclusivement physiologiques*. Il ne faut donc tirer des réactions électriques que des *conclusions physiologiques*. Ce n'est que secondairement, en faisant entrer en ligne de compte les circonstances dans lesquelles on a observé les modifications des réactions électriques, l'étiologie, l'évolution; en un mot toutes les données fournies par la clinique, que l'on pourra remonter de la physiologie pathologique à l'anatomie pathologique.

En électro-neurologie, comme dans toutes les branches de la médecine

cine d'ailleurs, mais à un plus haut degré peut-être, il devient nécessaire de substituer à la pensée anatomique la pensée physiologique.

Certains états physiologiques, sans lésion, comme en produisent le refroidissement ou certains troubles vaso-moteurs et certaines interventions expérimentales, peuvent se traduire par une lenteur de la contraction et une chronaxie aussi grande que dans la dégénérescence secondaire à la lésion anatomique d'un nerf. La seule différence entre les troubles lésionnels et non lésionnels est que les modifications des réactions électriques des premiers sont permanentes et ne se modifient pas ou peu sous l'influence de certains facteurs comme le réchauffement, tandis que les modifications des réactions électriques des secondes sont transitoires, variables d'un jour à l'autre, et disparaissent ou s'atténuent considérablement sous l'influence du réchauffement.

Considérées de cette manière, les variations pathologiques de la chronaxie fournissent nombre de faits qui contribuent à éclairer la physiologie normale du système nerveux. Ainsi que je l'ai déjà dit, la nature réalise en pathologie des expériences d'une finesse et d'une délicatesse que le bistouri le plus habile ne pourra jamais exécuter. C'est uniquement à ce point de vue que j'étudierai ici les faits que l'étude de la chronaxie en pathologie m'a fournis. Je ne développerai donc aucune observation clinique et ne donnerai, à ce point de vue, que les renseignements indispensables. Ce sont, en somme, des expériences naturelles que je vais exposer pour essayer d'en tirer les enseignements qu'elles comportent au point de vue de la connaissance de la physiologie du système nerveux. J'y joindrai l'exposé de recherches expérimentales sur l'Homme et sur le Chien qui nous fourniront des faits intéressants à comparer avec ceux que nous donne la pathologie.

Les variations de la chronaxie des nerfs périphériques et des muscles les plus étendues s'observent dans leurs lésions propres, mais les variations les plus intéressantes sont certainement celles qui apparaissent dans les neurones moteurs et les muscles secondairement à des lésions siégeant dans d'autres parties du système nerveux central ou périphérique, ainsi que je l'ai mis en évidence. Les troubles de la motilité, en effet, se divisent en deux grands groupes, suivant que la lésion causale siège sur le neurone moteur périphérique, y compris le muscle, ou en dehors de ce neurone moteur périphérique, dans les voies motrices centrales, cérébrales ou cérébelleuses ou extra-pyramidales (corps opto-striés).

En règle générale, mais ce n'est pas absolu, les écarts entre la chronaxie pathologique et la chronaxie normale sont beaucoup plus grands dans les lésions du neurone moteur périphérique que dans les lésions centrales.

Les modifications de la chronaxie dans les lésions centrales sont du même ordre de grandeur que celles que l'on peut observer dans toute une série de faits intéressants, que je groupe sous le nom de « répercussions », et qui comprennent tous les cas dans lesquels la chronaxie du système moteur périphérique est modifiée par la répercussion sur lui, de la lésion d'un neurone quelconque, moteur ou sensitif, en rapport fonctionnel avec lui. C'est dire que les modifications de la chronaxie dans les troubles moteurs d'origine centrale ne sont qu'un cas particulier de la loi générale de la répercussion.

I

**VARIATIONS DE LA CHRONAXIE DANS LES LÉSIONS
DES NEURONES MOTEURS PÉRIPHÉRIQUES ET DES MUSCLES
DÉGÉNÉRESCENCE WALLÉRIENNE ET MALADIES MUSCULAIRES PRIMITIVES**

A. — Relations de la chronaxie avec la forme de la contraction.

Au point de vue anatomo-pathologique on distingue la *dégénérescence wallérienne*, dans laquelle les lésions musculaires sont secondaires à une lésion du neurone moteur périphérique (cellule motrice de la corne antérieure de la moelle, racine antérieure, plexus, trajet des nerfs périphériques), et les *lésions musculaires primitives* sans lésion du système nerveux qu'on rencontre dans les myopathies et la maladie de Thomsen.

Déjà, en découvrant que les myopathies présentent toujours soit la réaction myotonique, comme les thomséniens, soit la contraction galvanotonique, comme la dégénérescence wallérienne, j'avais montré que les modifications de la forme de la contraction sont les mêmes dans toutes ces affections et qu'elles traduisent un même complexe anatomo-physiologique¹.

La chronaxie confirme tellement cette synthèse de la pathologie musculaire qu'il est impossible d'étudier les modifications de la chronaxie dans l'une de ces affections sans le faire en même temps dans les autres.

En même temps, la pathologie nous apporte, comme l'étude de la chronaxie normale de l'adulte, comme celle de la chronaxie du nouveau-né, une confirmation de la loi du rapport de la chronaxie avec la durée de la contraction d'une part, avec la fonction d'autre part.

Lorsque la fibre musculaire s'altère, elle le fait toujours d'une

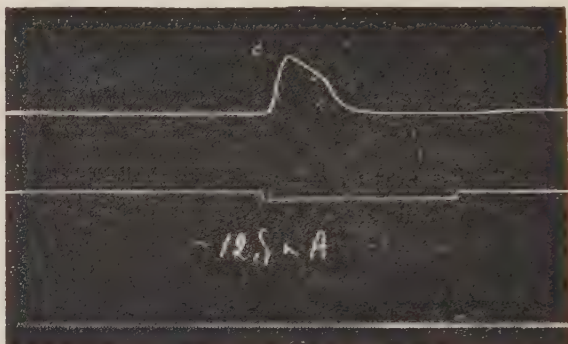
1. G. BOURGUIGNON. *Archives d'Électricité médicale et de Physiothérapie*, 40 juillet 1916.

manière très uniforme. La striation transversale s'atténue, puis disparaît, les noyaux et le sarcoplasma se multiplient.

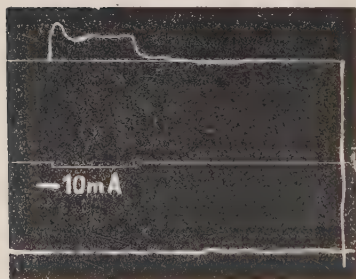
Parallèlement, la forme et la durée de la contraction se modifient.



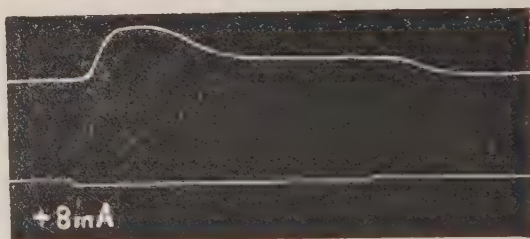
I. — Secousse normale. — Biceps. — Excitation de fermeture galvanique au point moteur.



II. — Secousse avec ralentissement de la décontraction. — Biceps. — Excitation longitudinale. — Début de dégénérescence.



III. — Galvanotonus à début brusque. — Jambier antérieur. — Dégénérescence partielle légère.



IV. — Galvanotonus à début lent. — Éminence thénar. — Excitation longitudinale. — Dégénérescence partielle.

FIG. 29. — LES DIVERSES FORMES DE LA CONTRACTION NORMALE ET PATHOLOGIQUE.

Les graphiques de la figure 29 montrent mieux que toute description les modifications que la pathologie apporte à la forme de la contraction normale (fig. 29 I). Au degré le plus léger, on constate seulement un ralentissement de la décontraction (fig. 29 II). Puis apparaît une contraction tonique du muscle pendant le passage du courant que j'ai proposée d'appeler contraction galvanotonique ou galvanotonus¹, en reprenant une vieille expression de Remak, à la place du terme très mauvais de « tétanos galvanique » sous lequel on dési-

1. G. BOURGUIGNON. La contraction galvanotonique dans la réaction de dégénérescence. *Soc. fr. d'Électrothérapie*, juin 1913.

gnait ce phénomène. Le tétanos, en effet, est produit par une série d'excitations fusionnées et non par une excitation unique durable. A l'état normal on peut observer le galvanotonus, mais il faut employer des intensités de 5 à 10 fois plus grandes que la rhéobase, tandis que



V. — Secousse lente. —
Jambier antérieur. — Point moteur. — Dégénérescence très accentuée.



VI. — Contraction myotonique.
Biceps droit. — Maladie de Thomsen. — Excitation longitudinale.

FIG. 29 (suite). — LES DIVERSES FORMES DE LA CONTRACTION NORMALE
ET PATHOLOGIQUE.

le galvanotonus pathologique s'obtient souvent dès le seuil et toujours avec une intensité inférieure à 2 ou 3 fois celle de rhéobase.

Ce galvanotonus qu'on trouve aussi bien dans la dégénérescence que dans la myopathie et le Thomsen¹ peut avoir un début brusque (fig. 29 III) ou lent (fig. 29 IV). Ensuite, on observe la contraction

1. G. BOURGUIGNON. La pathogénie et l'électrophysiologie des myopathies. 5^e Congrès de Physiothérapie, avril 1914. Publié *in extenso* dans : *Archives d'Électricité médicale et de Physiothérapie*, 10 juillet 1916. — G. BOURGUIGNON et E. HUET. *Soc. de Neurologie*, 1^{er} juin 1911. — *Soc. d'Électrothérapie et Radiologie*, nov. 1911. — E. HUET et G. BOURGUIGNON. *Archives d'Électricité médicale*, 25 septembre 1913, n° 566.

lente sans galvanotonus (fig. 29 V). Enfin, quand la contraction se prolonge longtemps après le passage du courant, elle devient la contraction myotonique (fig. 29 VI) qu'on rencontre avec son maximum de développement dans la maladie de Thomsen, mais qui existe aussi dans la myopathie, ainsi que je l'ai fait voir¹; elle peut même se rencontrer avec un développement moindre dans la dégénérescence wallérienne.

Dans ces altérations, la chronaxie augmente et peut atteindre jusqu'à 200 et 300 fois la valeur normale.

Dans les lésions légères on ne peut exprimer la variation de la chronaxie qu'en fonction de la valeur normale; mais, au fur et à mesure que les lésions sont plus graves, les différences entre les différents muscles s'effacent de sorte que les chronaxies les plus grandes sont les mêmes pour tous les muscles, quelle que soit leur chronaxie normale : *la pathologie fait disparaître les différenciations musculaires qu'on trouve en physiologie*. C'est pour ces raisons que j'exprime les chronaxies pathologiques par leur rapport avec la normale pour les variations les plus légères et par une valeur absolue, sans rapport avec la normale, pour les variations plus grandes. Au début du processus on peut même observer une diminution de la chronaxie.

Dans ces conditions, la chronaxie n'établit aucune différence entre la dégénérescence wallérienne, la myopathie et la maladie de Thomsen², mais se montre liée exclusivement à la forme de la contraction. Ce qu'on trouve ce n'est donc pas la chronaxie de la dégénérescence, de la myopathie ou de la maladie de Thomsen, mais la chronaxie du ralentissement de la décontraction, du galvanotonus à début brusque, de la contraction lente avec ou sans galvanotonus, de la contraction myotonique, et le degré de l'altération pathologique est exactement mesuré par la chronaxie, de sorte que la chronaxie permet de voir des différences entre deux faisceaux musculaires ayant la même forme de contraction.

Bien entendu, sur les confins de deux groupes de chronaxies pathologiques il y a des chevauchements comme on le voit sur le tableau ci-dessous; mais, d'une façon générale, la correspondance entre la forme de la contraction pathologique et la chronaxie est très grande.

Dans les fibres musculaires adhérentes à des tissus cicatriciels on peut voir aussi la contraction devenir galvanotonique, mais ce galvanotonus est localisé aux fibres adhérentes; les chronaxies de ces fibres

1. G. BOURGUIGNON et G. BOURGUIGNON et E. HUET, *loc. cit.*

2. G. BOURGUIGNON. Chronaxie et action des courants progressifs dans un cas de myopathie acquise. *Revue neurologique*, avril 1920. — La chronaxie dans la dégénérescence wallérienne. *C. R. Acad. des Sciences*, 30 mai 1921. — Chronaxie et dégénérescence wallérienne. *Bull. Soc. fr. d'Electroth. et Radiol.*, juin 1921.

ont une valeur de même ordre de grandeur que dans la dégénérescence wallérienne. Il en est de même des muscles ralentis par le froid, comme on peut le voir dans certains troubles vaso-moteurs sans lésion des nerfs moteurs ni des muscles.

Voici les limites de la variation de la chronaxie en fonction de la forme de la contraction :

TABLEAU XIV

Classification des contractions anormales par la chronaxie.

FORME DE LA CONTRACTION	CHRONAXIE
Contraction restée vive dans tous ses éléments.	Du 1/3 de la chronaxie normale à 10 fois la chronaxie normale.
Ralentissement de la décontraction.	De 5 à 10 ou 15 fois la chronaxie normale.
Galvanotonus à début brusque . .	De 10 ou 15 fois la chronaxie normale à 9 σ .
Galvanotonus à début lent. . . .	De 9 σ à 20 σ .
Contraction lente sans galvanotonus et contraction myotonique. . . .	De 10 σ à 70 σ .

Ce tableau synthétise les résultats d'environ 800 observations portant sur les lésions les plus diverses des neurones moteurs périphériques (cornes antérieures de la moelle, racines, plexus, nerfs périphériques) dans les affections médicales les plus variées et dans les blessures des nerfs périphériques, et sur 7 cas de myopathie, et 1 cas de maladie de Thomsen, affections plus rares. L'étude de quelques cas de galvanotonus par adhérences cicatricielles, de quelques cas de contraction lente par troubles vaso-moteurs, et les expériences qu'on trouvera plus loin sur la compression et le refroidissement permettent de généraliser et de dire que la chronaxie varie toujours de la même manière, parallèlement à la contraction, quelle que soit la cause de la modification de la durée de la contraction.

La nécessité d'exprimer les variations légères par leur rapport avec la normale vient des différences physiologiques entre les valeurs de la chronaxie des différents muscles. Ainsi, une chronaxie de 0 σ , 30 est une chronaxie pathologique pour un biceps (3 fois la valeur normale environ) ou pour un extenseur des doigts (1/2 de la valeur normale environ) alors qu'elle est une chronaxie normale pour un fléchisseur des doigts par exemple.

Voici quelques exemples de chronaxies pathologiques dans la dégé-

nérescence wallérienne, la myopathie et la maladie de Thomsen, comparées à la chronaxie de fibres musculaires adhérentes à des cicatrices et de muscles ralentis par le refroidissement causé par des troubles vaso-moteurs. Ces exemples font ressortir les relations de la valeur de la chronaxie avec la forme de la contraction. Dans les tableaux de ces expériences on trouvera, en regard des chronaxies et de la forme de la contraction, la valeur de la chronaxie normale du muscle considéré, désignée par τ_n et le rapport $\frac{\tau}{\tau_n}$ de la valeur de la chronaxie du muscle étudié à sa valeur normale. Pour établir ce rapport je donne à τ_n la valeur moyenne entre la valeur maxima et la valeur minima (voir les tableaux de chronaxies normales dans la première partie), sauf le cas où la chronaxie est normale : je dis alors que $\frac{\tau}{\tau_n} = 1$ lorsque la valeur de τ est comprise dans les limites de la valeur normale et, dans ce cas, je les rappelle. Les mesures sont faites avec les condensateurs.

Pour simplifier, je ne donne ici que les chronaxies, sans donner la capacité correspondante, ni les rhéobases.

I. — Dégénérescence wallérienne.

SUJET	DIAGNOSTIC	DATE	MUSCLE	τ	FORME DE LA CONTRACTION	τ_n	$\frac{\tau}{\tau_n}$
N° 1. M. C.	{ Polynévrite . .	{ 10/2/22	Vaste interne de la main gauche	0 σ , 44	Vive.	0 σ , 12	3.66
			Biceps crural..	6 σ , 80	Léger ralentissement de la décontraction.	0 σ , 58	11
			Extenseur com. des orteils gauche	10 σ	Lenteur et galvanoton.	0 σ , 30	33
			Extenseur propre gros orteil gauche	26 σ , 4	Contraction très lente, sans galvan.	0 σ , 30	87
N° 2. M. L.	{ Section du radial vérifiée chirurgicale- ment le 2 nov.	{ 17/10/17	Extenseur com. des doigts . .	17 σ	Contraction très lente + léger galv.	0 σ , 58	29
			Long supinat. Orbiculaire de la paupière inférieure . .	28 σ	id. Galvanoton.	0 σ , 12	233
N° 3. M. R.	{ Paralyse faciale gauche a frigore . . .	{ 30/11/21	Grand zygomatique	6 σ	à début brusque.	0 σ , 58	10
				49 σ , 2	Lenteur et fort galvanot.	0 σ , 58	33

SUJET	DIAGNOSTIC	DATE	MUSCLE	τ	FORME DE LA CONTRACTION	τ_n	$\frac{\tau}{\tau_n}$
N° 4. M ^{lle} D ^l .	Régénération du nerf mé- dian gauche suturé au poi- gnet, après section com- plète. — Evo- lution pa- rallèle de la chronaxie et de la forme de la contrac- tion	19/10/17	Court fléchiss. du pouce. .	70 σ	Lenteur très grande sans galvanoton.	0 σ ,30	233
		29/11/17	—	48 σ	id.	0 σ ,30	160
		26/2/18	—	22 σ	Lenteur sans galvanoton.	0 σ ,30	73
		3/5/18	—	12 σ ,8	Lenteur + léger galvan.	0 σ ,30	40
		11/7/18	—	13 σ ,6	Lenteur et fort galvanot.	0 σ ,30	40
		28/9/18	—	9 σ ,2	Lenteur et fort galvanot.	0 σ ,30	30
		23/11/18	—	4 σ ,4	Galvanoton. à début brusque.	0 σ ,30	14

II. — Myopathies.

SUJET	DIAGNOSTIC	DATE	MUSCLE	τ	FORME DE LA CONTRACTION	τ_n	$\frac{\tau}{\tau_n}$
N° 5 M. F.	Myopathie fa- miliale (2 frè- res et 4 sœur atteints et le père).	7 déc. 1917	Biceps droit. .	0 σ ,48	Galvanoton. à déb. brusque.	0 σ ,12	4
			Biceps gauche.	0 σ ,24	Contract. vive	0 σ ,12	2
			Jumeau interne droit.	8 σ	Galvanoton.	0 σ ,58	13
			Jumeau interne gauche.	10 σ	Myotonie lég.	0 σ ,58	17
N° 6 M. G.	Myopathie acquise	14 juin 1917	Brachial anté- rieur droit. .	2 σ	Galvanoton.	0 σ ,12	20
			Biceps droit. .	13 σ	Myotonie lég.	0 σ ,12	100
			Grand palmaire droit.	28 σ	Forte myo- tonie.	0 σ ,30	93
N° 7 M. R ² .	Myopathie acquise	20-25 janvier 1920	Biceps droit. .	4 σ	Galvanoton.	0 σ ,12	40
			Fléchisseur profond gauche	24 σ	Myotonie. . .	0 σ ,30	80
			Long supina- teur gauche.	40 σ	Myotonie. . .	0 σ ,12	333
N° 8 M ^{lle} X ³ .	Myopathie à type fibreux. .	2 nov. 1920	Extenseur com- mun des doigts	4 σ ,4	Contraction vive	0 σ ,58	7,6
			Delhoïde posté- rieur droit.	4 σ	Galvanoton.	0 σ ,12	33
			Vaste externe du biceps bra- chial gauche.	30 σ	Myotonie. . .	0 σ ,24	125

Voir notes 1, 2 et 3 page suivante.

III. — Maladie de Thomsen.

SUJET	DIAGNOSTIC	DATE	MUSCLE	τ	FORME DE LA CONTRACTION	τ_n	$\frac{\tau}{\tau_n}$
N° 9 M. L.	Maladie de Thomsen.	octob. 1917	Biceps droit.	28 σ	Myotonie.	0 σ ,12	283
			Biceps gauche.	14 σ	Myotonie.	0 σ ,12	116
			Grand palmaire	60 σ	Myotonie.	0 σ ,30	200
			Jumeau interne gauche.	13 σ	Myotonie.	0 σ ,58	22
			Frontal gauche.	8 σ	Galvanoton.	0 σ ,58	13

IV. — Galvanotonus dans les fibres musculaires sous-jacentes
à des cicatrices adhérentes⁴.

SUJET ET DIAGNOSTIC	DATE	τ	FORME DE LA CONTRACTION	τ_n	$\frac{\tau}{\tau_n}$
M. L. Cicatrice adhé- rente au niveau du sous-épineux droit :	20 nov. 1917	16 σ	Fort galvanotonus	0 σ ,12	133
M. M. Cicatrice adhé- rente à la face interne du mollet. — Pas de lésion du nerf sciati- que popl. interne.					
Faisceau de fibres du jumeau interne. adhérentes à la cica- trice	8 janv. 1918	18 σ	Fort galvanotonus	0 σ ,58	31
En déplaçant l'électrode, en dehors de la cicatrice, on trouve des chrono- axies normales.					

1. Observation publiée dans la *Revue neurologique*. G. BOURGUIGNON et CH. DUJARIER. — Suture totale du nerf médian au poignet 3 mois après la section. — Restauration complète. — Evolution de la chronaxie suivie pendant 15 mois. *Soc. de Neurologie*, 6 janvier 1921.

2. Observation clinique publiée par CROUZON et BOUTTIER. *Revue neurologique* n° 2, février 1920. — Etude complète des réactions électriques : G. BOURGUIGNON — Chronaxie et action des courants progressifs dans un cas de myopathie acquise. *Revue neurologique* n° 6, juin 1920.

3. Malade présentée à la *Soc. de Neurologie* par J. RENAULT, ATHANASSIO-BÉNISTY et E. HÉBERT. *Revue neurologique*, 4 nov. 1920. — Etude des réactions électriques : G. BOURGUIGNON, *Revue neurologique*, 4 nov. 1920.

4. G. BOURGUIGNON. Contraction galvanotonique localisée au niveau des cicatrices adhérentes. *Soc. fr. d'Électrothérapie et de Radiologie*, mai 1919.

V. — Contractions lentes par troubles vaso-moteurs.

M. C., 30 octobre 1918. — Névrome du cubital droit. — Pas de paralysie. — Paresthésies et troubles vaso-moteurs.

Au 1^{er} examen, le 25 octobre, le sujet présente un léger ralentissement de la décontraction dans l'adducteur du 5^e doigt. Il a la main froide. L'examen, faute de temps, n'est pas poussé plus loin ce jour-là. Le blessé est revu cinq jours plus tard, le 30 octobre 1918. Il se présente, ce jour-là, dans un état vaso-moteur différent : la main est chaude. A l'examen, les contractions et la décontraction sont vives et la chronaxie normale.

On lui met alors la main dans l'eau froide. La décontraction devient un peu lente et la chronaxie augmente. On réchauffe alors la main dans un bain à 37°, tout rentre dans l'ordre. Voici les chiffres de cette véritable expérience sur un sujet présentant un déséquilibre des fonctions vaso-motrices :

ÉTAT DE LA MAIN	MUSCLE	RHÉOBASE EN VOLTS	τ	FORME DE LA CONTRACTION	τ_n	$\frac{\tau}{\tau_n}$
Chaude. . .	{ Adducteur du 5 ^e doigt. }	58 v	0 σ , 28	Normale.	} 0 σ , 20 à 0 σ , 36	1
Refroidie. .	{ Adducteur du 5 ^e doigt. }	42 v	6 σ , 4	{ Ralentissement de la contraction.		20
Réchauffée.	{ Adducteur du 5 ^e doigt. }	69 v	0 σ , 32	Normale.		1

Dans cette expérience, la rhéobase a diminué pendant que la chronaxie a augmenté, ce qui est en parfait accord avec les résultats expérimentaux chez l'animal obtenus par L. Lapicque et ses élèves.

J'ai eu l'occasion de répéter cette expérience sur 3 ou 4 sujets, dans les mêmes conditions. J'ai toujours obtenu le même résultat.

Ces quelques observations suffisent à démontrer que dans les affections musculaires primitives (maladie de Thomsen et myopathies) la chronaxie prend les mêmes valeurs que dans la dégénérescence wallérienne et qu'il y a un parallélisme assez net entre la grandeur de la chronaxie et la forme de la contraction. Il en ressort aussi nettement que les valeurs les plus grandes de la chronaxie sont indépendantes de la chronaxie normale, tandis que pour les variations moins importantes, la grandeur de la chronaxie pathologique dépend, dans une certaine mesure, de la chronaxie normale.

Ainsi, la contraction myotonique et la contraction lente ont une chronaxie comprise entre 10 σ et 70 σ , aussi bien pour les muscles de petite chronaxie, comme le Biceps ou le long Supinateur, que pour les muscles de grande chronaxie, comme l'Extenseur commun.

Chez le sujet n° 2, par exemple, dont le nerf radial est sectionné, la chronaxie est de 17σ sur l'extenseur, plus petite, mais du même ordre de grandeur que sur le long Supinateur qui a une chronaxie de 28σ . Cependant, le rapport avec la chronaxie normale est extrêmement différent. On voit les mêmes choses en examinant les Chronaxies des Myopathiques ou du Thomsénien.

Au contraire, chez le sujet 8, par exemple, une chronaxie de 4σ sur le Deltoïde correspond à une contraction galvanotonique, alors qu'une chronaxie de 4σ , 4 sur l'extenseur commun s'accompagne d'une contraction restée vive. La valeur absolue est la même, mais le rapport avec la normale est très différent : la forme de la contraction est ici en rapport avec le rapport $\frac{\tau}{\tau_n}$ et non avec la valeur absolue de τ .

Il en est de même pour les lésions très localisées aux fibres adhérentes à des cicatrices, sans que le nerf lui-même ait été blessé, et pour les contractions lentes sans lésion du système neuro-musculaire.

Les chronaxies, dans ces deux cas, sont du même ordre de grandeur, pour une forme de contraction analogue, que dans les lésions des nerfs moteurs ou des muscles.

Tout concorde donc pour démontrer que la chronaxie est liée à l'état physiologique du muscle et à la forme de la contraction et non à l'état anatomique.

Quant à l'étude de la rhéobase elle ne permet de dire qu'une chose : d'une manière générale, en pathologie, contrairement à ce que nous avons vu en physiologie, les grandes chronaxies correspondent aux petites rhéobases et vice versa.

Mais les conditions de distribution du courant influent tellement sur la rhéobase qu'il est inutile de s'attarder à cette étude. C'est dans quelques cas favorables, par la comparaison sur un même sujet, qu'on peut se convaincre qu'il en est bien ainsi. Si l'on prend les chiffres expérimentaux bruts, on trouve tantôt des rhéobases peu différentes de ce qu'on voit chez les sujets normaux, tantôt des rhéobases augmentées, tantôt des rhéobases diminuées. En règle générale, quand les muscles ne sont pas encore atrophiés, ou quand tous les muscles d'un membre sont atrophiés à peu près également, on observe la variation inverse de la rhéobase et de la chronaxie au cours de l'évolution.

Mais, lorsque les muscles malades sont très atrophiés et entourés de muscles non atrophiés, la rhéobase augmente en même temps que la chronaxie.

Nous devons donc retenir ce fait général que la rhéobase suit une marche inverse de la chronaxie en pathologie, mais que la variation de la rhéobase peut être annulée ou changée de sens par les conditions de distribution du courant : la valeur de la rhéobase ne dépend plus alors de l'excitabilité; mais de la résistance relative du muscle examiné par rapport à ceux qui l'entourent.

C'est ce fait qui rend illusoire toute conclusion tirée de la seule étude de la rhéobase, comme on le faisait en électrodiagnostic classique, lorsqu'on ne détermine pas avec une précision, rarement réalisable d'ailleurs, les conditions de mesure de la rhéobase.

La chronaxie est donc le seul témoin fidèle des variations pathologiques de l'excitabilité.

La pathologie confirme les rapports de la chronaxie avec la durée de la contraction établie en physiologie comparée par les travaux de L. et Mme Lapicque. Il faut remarquer, cependant, que si ces rapports sont certains lorsque les lésions sont constituées, il n'y a pas toujours un parallélisme absolu entre la marche de la chronaxie et de la forme de la contraction au début de l'évolution, comme nous le verrons plus loin, lorsque nous étudierons l'évolution de la dégénérescence.

B. — Comparaison de la chronaxie mesurée sur le nerf, sur le point moteur et par excitation longitudinale dans les lésions des neurones moteurs périphériques et des muscles.

1° Distinction de la dégénérescence partielle et totale — Comparaison avec les maladies musculaires primitives. — Il est classique de distinguer la dégénérescence wallérienne en dégénérescence partielle et totale, suivant que l'excitabilité par le nerf est conservée ou perdue.

Quant à l'interprétation des faits, elle varie avec les surfaces. Les uns, avec Vernicke, considèrent qu'il s'agit de la localisation du processus dégénératif à la *totalité* des fibres du nerf et du muscle, ou à une *partie* seulement de ces fibres. Les autres, avec Erb, considèrent qu'il s'agit d'un *degré* dans la dégénérescence, qui serait toujours étendue à la *totalité* des fibres du nerf et du muscle.

Etudions ces faits à la lumière de la chronaxie.

Le fait général, commun à toutes les dégénérescences partielles est que l'isochronisme du nerf, du point moteur et de l'excitation longitudinale, a disparu. Tandis qu'un muscle normal a la même chronaxie, à de petites différences près, quand on l'excite au point moteur, par son nerf, ou par excitation longitudinale, dans la dégénérescence partielle on trouve des chronaxies différentes. En même temps, la forme de la contraction n'est pas la même dans ces divers modes d'excitation.

L'excitation du nerf donne une contraction vive, avec chronaxie petite, normale ou un peu supérieure à la normale. L'excitation longitudinale donne une contraction modifiée qui est ou lente, ou galvanotonique ou légèrement ralentie seulement dans la phase de décontraction : la chronaxie trouvée est celle qui correspond à la durée de la contraction.

Les muscles en dégénérescence partielle ont donc, non pas une,

mais au moins *deux* chronaxies qui sont, l'une une chronaxie de fibres vives, l'autre une chronaxie de fibres lentes.

Au point moteur, les phénomènes sont très complexes et, en général, on n'excite pas les mêmes fibres avec le courant prolongé qu'avec les ondes brèves. Suivant les cas, la contraction est vive aux deux pôles (NF et N'F), ou lente aux deux pôles, ou vive à NF et lente à N'F. La chronaxie à NF est, en général, intermédiaire à celle qu'on a trouvée sur le nerf et à celle qu'on a trouvée par excitation longitudinale, se rapprochant plus de l'une ou de l'autre. Quand on y regarde de près on voit que cette chronaxie au point moteur, avec le pôle négatif, n'est pas toujours une vraie chronaxie. En effet, il arrive souvent que, à la recherche de la rhéobase, la contraction est lente; puis, à la recherche de la chronaxie, après avoir doublé le voltage, on trouve une chronaxie à peine plus grande que celle du nerf et la contraction est vive. En augmentant la capacité il arrive un moment où la contraction est lente : la chronaxie trouvée ainsi est alors à peu près la même que celle qu'on a trouvée par excitation longitudinale. Si alors on reprend le courant galvanique on voit que, en augmentant l'intensité, la contraction de lente devient vive. En doublant le voltage minimum pour lequel la contraction est vive et en cherchant la chronaxie, la première contraction obtenue avec les condensateurs est vive et la chronaxie trouvée est très voisine de celle du nerf. Le courant prolongé met en jeu d'abord les fibres lentes, parce que la chronaxie et la rhéobase varient, en général, en sens inverse. Les ondes brèves mettent en jeu d'abord les fibres vives pour la même raison. C'est, répétée sur les diversés fibres d'un seul muscle, l'expérience de l'excitation sélective que Lapicque réalise en mettant dans le même circuit deux muscles de chronaxies différentes.

Le passage de la contraction lente à la contraction vive ou de la contraction vive à la contraction lente n'est pas toujours assez net pour permettre de prendre les deux chronaxies avec certitude. Mais il suffit de voir la différence des contractions avec les deux sortes d'ondes et de pouvoir prendre deux chronaxies différentes au point moteur dans quelques cas pour affirmer que ces faits ne s'expliquent que par la conception que je viens d'exposer.

Une autre preuve de la pluralité des chronaxies du muscle en dégénérescence partielle est donnée par le fait de la discordance du temps utile et de la chronaxie au point moteur avec le pôle négatif. La chronaxie est plus petite que celle qui correspondrait au temps utile : le temps utile cherché avec l'onde longue est celui des fibres lentes. La chronaxie est cette espèce de chronaxie moyenne qu'on obtient au point moteur quand on ne tient pas compte de la forme de la contraction à la rhéobase et aux condensateurs (ondes brèves).

Quand la contraction est vive aux deux pôles, la chronaxie est la même avec les deux pôles et reste petite. Quand elle est vive avec le

pôle négatif et lente avec le pôle positif, la chronaxie prise dans les deux sens du courant est petite pour la contraction vive et grande pour la contraction lente. Quand la contraction est lente aux deux pôles, la chronaxie est grande dans les deux sens du courant.

Toutes les modalités peuvent s'observer. On peut dire que la chronaxie au point moteur, prise avec le pôle négatif, se rapproche plus de celle du nerf ou de celle de l'excitation longitudinale, suivant que le nombre des fibres vives l'emporte sur celui des fibres lentes et *vice versa*.

Cette pluralité de chronaxies démontre que ces muscles sont *hétérogènes*, composés d'un *mélange de fibres de vitesse différente*, au lieu d'être *homogènes*, composés de fibres de même valeur, comme à l'état normal. Le mot « dégénérescence partielle » ne doit donc pas s'entendre comme d'un degré de la dégénérescence, comme le voulait Erb. Il doit s'entendre comme désignant le mode de répartition du processus pathologique qui n'atteint qu'une *partie* des fibres et non leur *totalité*. C'était l'interprétation qu'avait donnée Vernicke.

Le degré de la dégénérescence d'une fibre ou d'un faisceau de fibres donné est mesuré exclusivement par la valeur de la chronaxie, qu'il s'agisse de la dégénérescence partielle ou de la dégénérescence totale que je vais maintenant étudier. Il faut donc substituer, en électro-diagnostic, la pensée *histo-physiologique* à la pensée *anatomo-physiologique*. Il faut parler *cyndraxes* et *fibres musculaires*; il ne faut plus parler *nerfs* et *muscles*.

Quand on étudie la dégénérescence totale, outre l'inexcitabilité par le nerf, on constate que l'homogénéité du muscle est beaucoup plus grande. La chronaxie est sensiblement la même au point moteur, dans les deux sens du courant et par excitation longitudinale.

De même, la forme et la durée de la contraction sont les mêmes dans ces divers modes d'excitation.

La valeur de la chronaxie ne dépend que du degré de la dégénérescence. C'est dire qu'on peut trouver toutes les valeurs possibles de la chronaxie, comme dans la dégénérescence partielle.

Le plus souvent, l'*homogénéité* du muscle en dégénérescence totale n'est pas parfaite; toutes les fibres n'évoluent pas aussi vite les unes que les autres.

De sorte que je puis dire :

En première approximation, l'*homogénéité* caractérise l'état normal; l'*hétérogénéité* caractérise les états pathologiques. La dégénérescence totale et la dégénérescence partielle se distinguent exclusivement par le fait que l'hétérogénéité est très prononcée dans la dégénérescence partielle et très peu marquée, atteignant presque l'homogénéité, dans la dégénérescence totale; de toute façon on ne trouve pas de chronaxie de fibres vives dans la dégénérescence totale.

C'est à mon avis, en dernière analyse, la seule distinction solide entre la dégénérescence partielle et la dégénérescence totale.

Si nous comparons ce qui se passe dans les myopathies et dans la maladie de Thomsen avec ce qui se passe dans la dégénérescence, nous voyons que les muscles se comportent toujours, dans ces affections, comme ils le font dans la dégénérescence partielle, mais jamais comme dans la dégénérescence totale.

Voici quelques exemples des principaux faits que je viens d'exposer :

a) *Comparaison de la chronaxie et de la forme de la contraction par excitation du nerf et du point moteur et par excitation longitudinale.*

I. — **Dégénérescence totale.** — Mlle M. Section du nerf radial au bras gauche par un coup de rasoir le 28 mai 1921. — Examen le 18 juin, 3 semaines après la section nerveuse qui a été suturée le lendemain de l'accident.

SIÈGE DE L'EXCITATION	τ	FORME DE LA CONTRACTION	τ_n	$\frac{\tau}{\tau_n}$
Extenseur commun des doigts (Faisceau du 3 ^e doigt).	26 σ	Très lente, sans galvanotonus.	0 σ ,58	45
Point moteur.				
Excitation longitudinale. . .	26 σ	Très lente, sans galvanotonus.		
Nerf. — Inexcitabilité avec 15mA.				

II. — Dégénérescence partielle.

M. C. Polynévrite des membres supérieurs et inférieurs, 14 nov. 1921.

SIÈGE DE L'EXCITATION	τ	FORME DE LA CONTRACTION	τ_n	$\frac{\tau}{\tau_n}$
Cubital antérieur droit.				
Point moteur.	1 σ ,44	Galvanotonus à début brusque. Contraction un peu lente et galvanotonus.	0 σ ,30	4,6
Excitation longitudin.	9 σ ,20			
Nerf.	0 σ ,36	Contraction vive.	0 σ ,20 à 0 σ ,36	1

Mme X. — Atrophie Charcot-Marie.

SIÈGE DE L'EXCITATION	τ	CONTRACTION	τ_n	$\frac{\tau}{\tau_n}$
Fléchisseur superficiel des doigts.				
Point moteur.	2 σ ,08	Assez vive. Ralentie. Vive.	0 σ ,30	6,6 21 3,4
Excitation longitudinale	6 σ ,40			
Nerf.	1 σ ,04			

III. — **Myopathie.** — M. B. — Myopathie acquise (malade déjà cité).

SIÈGE DE L'EXCITATION	τ	CONTRACTION	$\tau \eta$	$\frac{\tau}{\tau_0}$
Fléchisseur profond				
Point moteur.	0 σ ,28	Vive + Myotonie.	0 σ ,24	1
Excitation longitudinale.	24 σ	Myotonie seule.	à	80
Nerf.	0 σ ,36	Vive seule.	0 σ ,36	1
Extenseur commun des doigts.				
Point moteur.	1 σ ,9	Vive+Galvanoton.		3,2
Excitation longitudinale.	8 σ ,8	Galvanotonus seul.	0 σ ,58	15
Nerf.	0 σ ,8	Vive seule.		1,3

IV. — **Maladie de Thomsen.** — M. L. 3 octobre 1917.

SIÈGE DE L'EXCITATION	τ	CONTRACTION	τ_{μ}	$\frac{\tau}{\tau_{\mu}}$
Jumeau interne gauche.				
Point moteur.	13 σ	Myotonique.	0 σ ,44 à	22
Nerf.	0 σ ,44	Vive.	0 σ ,72	1
Grand palmaire droit.				
Point moteur.	16 σ	Myotonie peu accentuée.		33
Excitation longitudinale.	60 σ	Myotonie très accentuée.	0 σ ,30	200
Nerf.	1 σ ,3	Vive.		4,3

b) *Comparaison de la chronaxie mesurée aux deux pôles sur le point moteur avec la chronaxie mesurée sur le nerf ou par excitation longitudinale.* — Je donne un exemple du cas le plus intéressant dans les dégénérescences, celui où la contraction avec les deux pôles est différente et un exemple dans la maladie de Thomsen. Je n'ai pas fait la comparaison dans la myopathie, mais, avec tout ce que je viens de dire, les conclusions tirées de ces deux affections lui sont applicables.

I. — **Dégénérescence partielle.**

Mme X. Atrophie musculaire, Charcot-Marie.

SIÈGE DE L'EXCITATION	POLES	τ	CONTRACTION	τ_{μ}	$\frac{\tau}{\tau_{\mu}}$
Court fléchisseur du pouce					
Point moteur.	NF	0 σ ,68	Vive.		2,2
	NF	6 σ ,80	Ralentie.	0 σ ,70	22
Nerf.	NF	0 σ ,28	Vive.		1

II. — **Maladie de Thomsen.** — M. L. (Même malade que ci-dessus).

MUSCLE	POLES	τ	CONTRACTION	τ_n	$\frac{\tau}{\tau_n}$
Grand palmaire droit.					
Point moteur	NF	16 σ	Myotonie peu accentuée.	0 σ , 30	53
	N/F	60 σ			200
Excitat. longitudinale..	NF	60 σ	Myotonie très forte.		200
	N/F	48 σ	Myotonie moyenne.		159
Nerf.	NF	1 σ , 3	Vive. — Pas de myotonie.		4.3

c) *Seuils vifs et lents successifs sur le même muscle.* — 1^{er} sujet. — M. Ch. Blessure du plexus brachial gauche sans section. — Dégénérescence partielle de tout le plexus brachial.

Expérience du 15 mai 1916. — Long supinateur gauche. Ce muscle, suivant la position de l'électrode, donne des contractions vives ou des contractions lentes. Sans changer la position de l'électrode, on obtient des contractions vives ou lentes, suivant l'intensité du courant. J'ai pu ainsi prendre séparément la chronaxie des fibres vives et des fibres lentes, sans déplacer l'électrode, aussi bien par excitation longitudinale qu'au point moteur.

Voici l'expérience faite en excitation longitudinale :

1^o Chronaxie globale. — J'appelle ainsi la chronaxie prise en doublant le voltage rhéobasique sans s'inquiéter de la forme de la contraction. Dans ces conditions la contraction est lente à la recherche de la rhéobase avec le courant continu et vive avec la capacité liminaire pour le voltage rhéobasique doublé.

$$\text{Rhéobase} = 62 \text{ v} \quad \tau = 7 \sigma.$$

2^o Recherche séparée de la chronaxie des fibres vives et des fibres lentes. — Rhéobase cherchée avec le courant continu. On prend la première rhéobase; la contraction est lente. On augmente l'intensité : à un moment donné, brusquement, on voit la contraction devenir plus vive. On note le voltage pour lequel ce fait se produit : c'est la rhéobase des fibres vives.

On double ensuite la première rhéobase et on cherche la capacité liminaire. C'est maintenant l'inverse qui se produit; la première capacité efficace donne une contraction vive : c'est la chronaxie globale qui n'est pas une vraie chronaxie. On augmente la capacité.

On voit alors, pour une capacité déterminée, la contraction devenir lente : on a ainsi la chronaxie des fibres lentes. Ensuite on double la deuxième rhéobase ; la première capacité liminaire donne des contractions vives : c'est la chronaxie des fibres vives.

1 ^{re} rhéobase = 62 v.	Contraction lente.
2 ^e — 71 v.	La contraction devient vive.
1 ^{re} chronaxie : 124 v { 7 σ. . .	Seuil vif (chronaxie globale).
{ 27 σ. . .	Seuil lent (chronaxie des fibres lentes).
2 ^e — 142 v 1 σ, 9 . . .	Contraction assez vive (chronaxie des fibres vives).
Nerf. . Rhéobase = 70 v. .	
τ = 0 σ, 5	Contraction vive.

2^e sujet. — M. H., Guy. Polynévrite. — Jambier antérieur gauche.
— Point moteur.

A la recherche de la rhéobase on voit nettement une contraction vive dans les faisceaux externes du muscle et une contraction lente dans les faisceaux internes.

Le seuil est le même pour les deux contractions qui ont la même rhéobase.

A la recherche de la chronaxie on a d'abord une contraction vive dans les faisceaux externes. En augmentant la capacité on obtient la double contraction et on peut prendre le seuil des fibres lentes.

Rhéobase commune = 44 v.

Chronaxie. { 0 σ, 6.	Seuil des fibres vives.
{ 12 σ.	Seuil des fibres lentes.

J'ai répété ces expériences sur bien des sujets en les variant de différentes façons. Toutes les fois que l'expérience était possible elle a donné les mêmes résultats.

Tous ces faits démontrent l'hétérogénéité des muscles de la dégénérescence partielle et des maladies musculaires primitives.

Ces expériences confirment celles que j'avais faites avec H. Laugier sur la maladie de Thomsen et la dégénérescence dans le but de vérifier la localisation de l'excitation de fermeture¹.

Les chronaxies différentes trouvées sur le nerf, le point moteur et par excitation longitudinale, comme la différence des chronaxies avec NF et N'F au point moteur, démontrent bien qu'on excite des fibres différentes avec les deux pôles. Donc l'excitation naît en des endroits différents suivant qu'on emploie un pôle ou l'autre pôle. La correspondance de la chronaxie du nerf avec celle du pôle négatif (NF) au point moteur et avec la contraction vive et la correspondance de la

1. G. BOURGUIGNON et H. LAUGIER. Différences apparentes d'actions polaires et localisations de l'excitation de fermeture dans la maladie de Thomsen. *C. R. Ac. des Sciences*, t. 157, p. 255, 21 juillet 1913 et : Différences apparentes d'actions polaires et localisations de l'excitation de fermeture dans la maladie de Thomsen et la dégénérescence. *Congrès international de médecine*, Londres, 9 août 1913.

chronaxie au pôle positif (N'F) avec celle de l'excitation longitudinale et avec la contraction lente, démontrent bien qu'il n'y a d'excitation que par le pôle physiologique négatif. La comparaison de l'excitabilité avec les deux pôles est donc bien une comparaison de l'excitabilité de deux tissus différents ou de deux régions différentes d'un même tissu et non une comparaison entre deux excitabilités d'un même objet. L'inversion n'a donc pas la signification ni l'importance que les électrothérapeutes lui ont attribuées.

Enfin, toutes les expériences prouvent qu'en pathologie on excite le plus souvent la fibre musculaire avec N'F au point moteur et avec l'excitation longitudinale.

Si donc nous n'avons pas pu mettre en évidence l'excitation musculaire directe à l'état normal, bien au contraire nous voyons que l'excitation de la fibre musculaire s'obtient facilement dans la dégénérescence partielle et les maladies musculaires primitives (myopathies et Thomsen) où on peut obtenir soit l'excitation musculaire, soit l'excitation nerveuse, selon les conditions de l'excitation, et dans la dégénérescence totale où l'on ne peut plus obtenir que l'excitation musculaire.

Dans la dégénérescence partielle comme dans la dégénérescence totale on n'excite directement que les fibres musculaires qui ne sont plus excitables par le nerf.

Que signifie donc l'inexcitabilité par le nerf?

Les recherches de L. Lapicque sur l'isochronisme du nerf moteur et du muscle et sur l'action du curare et de la strychnine sur la chronaxie ont montré que cet isochronisme est la condition essentielle de l'excitabilité du muscle par le nerf; dès que le rapport entre la chronaxie du nerf et celle du muscle est plus grand que $1/2$, le muscle ne répond plus à l'excitation du nerf, même si le nerf est encore excitable comme le montre la persistance de sa variation négative.

Voilà donc un premier mécanisme de l'inexcitabilité d'une fibre musculaire par sa fibre nerveuse. S'il porte sur la totalité des fibres du muscle on a l'inexcitabilité de tout le muscle par son nerf, comme on l'observe dans la dégénérescence totale. S'il porte seulement sur une partie des fibres on observe les faits complexes de la dégénérescence partielle.

Mais l'inexcitabilité par le nerf peut encore se réaliser par la destruction et la mort des cylindraxes, comme il arrive dans le bout périphérique d'un nerf sectionné. Là encore, le processus peut porter sur la totalité des fibres nerveuses destinées à un muscle ou sur une partie seulement de ces fibres: les sections complètes d'un nerf réalisent le premier cas; les sections n'atteignant qu'une portion latérale d'un nerf réalisent le deuxième cas; les infections et intoxications réalisent tantôt l'un, tantôt l'autre, au même titre que les sections.

Ces faits montrent qu'il faut distinguer deux sortes d'inexcitabilité du nerf :

1^o L'inexcitabilité réelle, résultant de la mort des cylindraxes. —
2^o L'inexcitabilité apparente traduisant l'hétérochronisme du nerf et du muscle. Nous n'avons malheureusement aucun moyen de les distinguer en clinique, de sorte que nous devons toujours être très réservés dans nos conclusions et dire non pas : « le nerf est inexcitable », mais « le muscle est inexcitable par son nerf ». C'est dans l'étude clinique et surtout l'ancienneté de la lésion que nous pourrions trouver des arguments en faveur de l'une ou de l'autre de ces deux hypothèses.

2^o **Contractions lentes par excitation du nerf.** — Des expériences précédentes il résulte donc que la chronaxie du nerf ne varie que très peu, l'hétérochronisme, rapidement produit par la pathologie entre la fibre nerveuse et la fibre musculaire, supprimant toute excitabilité indirecte de cette fibre musculaire.

Cependant il arrive, dans quelques cas rares, que la contraction par le nerf soit lente. La démonstration du fait est très délicate en général et bien souvent on prend pour une contraction lente par le nerf une excitation directe du muscle par la diffusion du courant. En effet, dans la dégénérescence, nous avons vu que la rhéobase diminue pendant que la chronaxie augmente. L'excitation par la diffusion du courant est donc beaucoup plus facile à obtenir sur le muscle dégénéré que sur le muscle normal. Il n'est donc pas étonnant qu'on ait assez souvent une apparence de contraction lente par excitation du nerf, pour les muscles de la main par exemple, en excitant le nerf au poignet, pour le cubital antérieur ou les palmaires en excitant le nerf médian ou le nerf cubital au coude.

Cependant, en éliminant toutes ces causes d'erreurs, il reste un petit nombre de cas dans lesquels l'existence d'une contraction lente par le nerf est indubitable. Ainsi, on ne peut douter de l'existence d'une contraction lente par le nerf lorsqu'on l'obtient dans les muscles de la main en excitant le nerf médian ou le nerf cubital au coude et que le seuil galvanique n'est que de 1 ou 2mA.

Or, en critiquant très rigoureusement tous les cas dans lesquels la question s'est posée pour moi d'une contraction lente par le nerf, j'ai vu que, dans presque tous, il s'agissait d'une excitation directe du muscle par diffusion du courant et qu'il y avait, en réalité, inexcitabilité par le nerf, mais que, dans trois cas, il s'agissait indubitablement d'une excitation par le nerf.

Ces trois cas se répartissent en deux catégories :

1^o Dans deux cas il s'agissait de troubles vaso-moteurs sans dégénérescence.

2° Dans le troisième il s'agit d'une régénération après dégénérescence.

Ces faits méritent d'être étudiés avec quelques détails.

a) *Contractions lentes par excitation du nerf chez les blessés atteints de troubles vaso-moteurs.* — 1^{er} sujet. — M. G. R. — Il s'agissait d'un léger tiraillement du plexus brachial inférieur (domaine du médian et du cubital) par luxation de l'épaule, survenue le 4 mai 1918.

Le blessé a été soumis à mon observation 5 mois plus tard, le 18 octobre 1918.

Cliniquement, il présentait une parésie avec légère hypoesthésie dans le domaine du nerf médian et, fait très important, un syndrome sympathique qui était l'inverse du syndrome de Claude Bernard-Horner: il avait de l'inégalité pupillaire, avec dilatation de la pupille du côté blessé. Mme Dejerine a démontré que les lésions du plexus brachial inférieur, par l'intermédiaire de l'anastomose avec le sympathique, s'accompagnent très souvent de myosis et d'enophtalmie. syndrome connu sous le nom de syndrome de Claude Bernard-Horner et en rapport avec l'excitation du sympathique. Ici, nous avions l'inverse, c'est-à-dire un syndrome d'inhibition du sympathique: il est probable que les troubles vaso-moteurs observés chez notre malade sont à rattacher à ce trouble du sympathique.

Au point de vue de l'état de ses nerfs et muscles il ne présentait qu'un très léger ralentissement de la décontraction dans le domaine du médian, que j'ai étudié en détail. Les chronaxies étaient relativement peu modifiées.

J'ai alors constaté que ce ralentissement de la décontraction s'observait, non seulement par l'excitation des points moteurs, mais encore par celle du nerf, aussi bien au coude qu'au poignet.

Ayant remarqué que le membre supérieur gauche était beaucoup plus froid que le droit, je l'ai réchauffé en le mettant dans un bain de lumière pendant 15 minutes.

La lenteur de la décontraction a disparu et j'ai observé une marche inverse de la chronaxie sur le nerf et sur le point moteur. Le tableau suivant résume les faits observés:

Expérience du 18 octobre 1918. — Décharges de condensateurs.

Chronaxie normale : $\tau_n = 0\sigma,20$ à $0\sigma,36$.

ÉTAT DES MEMBRES RANIMÉS ¹		COURT ABDUCTEUR DU POUCE				GRAND PALMAIRE			
		RHÉOBASE	τ	CONTRACTION	$\frac{\tau}{\tau_n}$	RHÉOBASE	τ	CONTRACTION	$\frac{\tau}{\tau_n}$
Membre froid spon- tanément.	Point moteur.	90 v	0 σ ,52	Ralentie.	2	81 v	0 σ ,88	Ralentie.	2,5
	Nerf au coude.	70 v	0 σ ,28	Ralentie.	4	91 v	0 σ ,36	Ralentie.	1
	Nerf au poignet.	63 v	0 σ ,28	Ralentie.	1				
Après réchauf- fement.	Point moteur.	80 v	0 σ ,28	Vive.	1	115 v	0 σ ,36	Vive.	1
	Nerf au coude.	68 v	0 σ ,24	Vive.	1	55 v	0 σ ,56	Vive.	2
	Nerf au poignet.	54 v	0 σ ,52	Vive.	2				

De l'examen de cette expérience, il résulte que :

1° Il n'y avait pas de modifications importantes de la chronaxie et la chronaxie se modifiait facilement par le réchauffement. Ce fait prouve que la légère lenteur de la décontraction observée ne traduisait pas une lésion grave, mais un ralentissement par refroidissement causé par les troubles vaso-moteurs, en rapport, probablement, avec l'atteinte du sympathique.

2° Quand le membre est froid et qu'il y a de la lenteur (de la décontraction seulement), la chronaxie est normale sur le nerf et *double* de la normale sur le muscle, aussi bien pour les muscles innervés par le médian à l'avant-bras que pour les muscles innervés par ce nerf à la main. L'hétérochronisme du nerf et du point moteur ne dépasse pas celui que L. Lapicque a montré être la limite compatible avec la persistance de l'excitabilité par le nerf.

Ce résultat s'interprète donc très facilement. Le muscle refroidi se ralentit dans sa contraction, ce qui s'accompagne d'une augmentation de sa chronaxie.

Le nerf est resté normal, mais le rapport de la chronaxie du nerf au muscle ne dépasse pas ou à peine 2. L'excitation indirecte subsiste, mais le muscle ne peut répondre que par la contraction qu'il peut donner, c'est-à-dire une contraction ralentie.

3° Le réchauffement fait disparaître la lenteur de la contraction et ramène la chronaxie du point moteur à la normale.

Par suite d'un phénomène à expliquer, le nerf varie en sens inverse et sa chronaxie devient double de la normale, mais l'hétérochronisme ne dépasse encore pas celui qui est compatible avec l'excitation indi-

recte. Le muscle dont la contraction est devenue vive répond par une contraction vive.

Reste à expliquer l'augmentation de la chronaxie du nerf à la suite du réchauffement. Ici, nous sommes réduits, pour le moment, à faire des hypothèses.

Je ne pense pas que le réchauffement par le bain de lumière ait produit un réchauffement direct du nerf ou des muscles, tissus profonds, comme on réchauffe un nerf ou un muscle dénudé en agissant directement sur eux.

On sait que l'échauffement de la peau ne pénètre pas très loin. Mais l'action de la chaleur sur la peau produit des phénomènes vasomoteurs : les capillaires cutanés se dilatent ; or, toute vaso-dilatation en un point produit à distance une vaso-constriction.

Il est facile alors de s'expliquer la différence d'action sur les nerfs et sur les points moteurs. Les muscles étant beaucoup plus superficiels que les nerfs ont subi l'action de la vaso-dilatation, c'est-à-dire qu'ils se sont réchauffés. Les nerfs, plus profonds, ont subi au contraire l'action de la vaso-constriction et se sont refroidis.

Cette expérience démontre qu'il est possible d'observer des contractions lentes par excitation du nerf à condition que le rapport de la chronaxie du nerf à celle du muscle ne dépasse pas 2.

2^e sujet. — M. C. — Blessé par balle en sétou à la face interne du bras droit : le 24 mars 1918.

Le blessé est soumis à mon examen le 25 octobre 1918, soit 7 mois après la blessure.

Parésie du cubital avec griffe cubitale. En même temps on constate que la partie de la main innervée par le cubital est plus froide que le reste de la main, innervée par le médian et que la main du côté opposé. L'avant-bras est de même divisé en deux parties par une ligne verticale : du côté du cubital, la peau est plus froide que du côté du médian.

Je constate que les muscles innervés par le cubital à la main ont une contraction un peu ralentie et que la contraction a les mêmes caractères par excitation du nerf au coude et au poignet que par excitation des points moteurs. *L'existence de contractions lentes, avec des intensités faibles dans les muscles de la main par excitation du nerf au coude, ne laisse place à aucun doute sur la réalité de ces contractions lentes par excitation du nerf.*

Contrairement à ce qui existait chez le blessé précédent, la lenteur est limitée au domaine du nerf à la main ; on n'en constate pas dans les muscles innervés par le cubital à l'avant-bras.

Les chronaxies sont mesurées : on les trouve normales sur le nerf au coude et au poignet et sur le cubital antérieur, mais doublées sur l'éminence hypothenar.

SIÈGE DE L'EXCITATION	ADDUCTEUR DU 5 ^e DOIGT				CUBITAL ANTÉRIEUR			
	RHÉOBASE EN VOLTS	τ	CONTRACTION	$\frac{\tau}{\tau_n}$	RHÉOBASE EN VOLTS	τ	CONTRACTION	$\frac{\tau}{\tau_n}$
Point moteur.	69 v	0 σ ,48	Ralentie.	1,6	51 v	0 σ ,32	Vive.	1
Nerf cubital au coude			Ralentie.		80 v	0 σ ,32	Vive.	1
Nerf cubital au poignet	61 v	0 σ ,32	Ralentie.	4				

Faute de temps, l'expérience ne put être poussée plus loin ce jour-là. Le blessé fut revu 4 jours plus tard, le 29 octobre 1918. J'espérais pouvoir répéter sur ce blessé les expériences que j'avais faites quelques mois plus tôt sur le blessé précédent.

Mais, lorsqu'il revint, il avait la main chaude et les contractions étaient vives sur les points moteurs et sur le nerf. L'expérience que je voulais faire s'était faite toute seule de par l'instabilité vaso-motrice du blessé. Les chronaxies sont alors trouvées normales. Il ne me restait plus qu'à provoquer expérimentalement le refroidissement, puis le réchauffement, ce que je fis.

Les contractions à l'avant-bras ayant été toujours normales, je n'ai étudié cette fois que l'adducteur du 5^e doigt et le nerf cubital au poignet. Les résultats de l'expérience sont exposés dans le tableau suivant :

ÉTAT DE LA MAIN	ADDUCTEUR DU 5 ^e DOIGT				
	SIÈGE DE L'EXCITATION	RHÉOBASE	CHRONAXIE	CONTRACTION	$\frac{\tau}{\tau_n}$
1 ^o Main chaude spontanément	Point moteur	98 v	0 σ ,24	Vive.	1
	Nerf cubital au poignet.	81 v	0 σ ,32	Vive.	1
2 ^o Main et avant-bras refroidis par immersion dans l'eau froide	Point moteur.	v	6 σ ,40	Ralentie. Légère	24
	Nerf au poignet.	94 v	0 σ ,24	ralentie.	1
3 ^o Main et avant-bras réchauf- fés par immersion dans un bain d'air chaud pendant une heure. La peau devient chau- de mais ne rougit pas. . . .	Point moteur.	69 v	0 σ ,32	Vive.	1
	Nerf au poignet.	61 v	0 σ ,28	Vive.	1

Ainsi lorsque, spontanément, le blessé a la main froide ou chaude, on trouve les contractions ralenties ou vives. La chronaxie du point

moteur a varié parallèlement, mais le nerf a toujours la même chronaxie. Lorsqu'on réchauffe ou refroidit artificiellement la main ou l'avant-bras, les résultats sont les mêmes que dans le réchauffement et le refroidissement spontanés : le refroidissement spontané ou provoqué, produit un ralentissement de la contraction avec augmentation de la chronaxie du point moteur. Ces résultats sont absolument comparables à ceux de l'expérience faite sur l'autre blessé.

Au point de vue du nerf, par contre, le 2^e blessé diffère du 1^{er} : chez le 2^e, la chronaxie du nerf n'a pas été influencée par le refroidissement et le réchauffement, et le rapport de la chronaxie du point moteur à la chronaxie du nerf est 10 fois plus grand (21 au lieu de 2) que chez le 1^{er}. Comment s'expliquer alors la persistance de l'excitabilité indirecte? Une hypothèse paraît plausible. Il est probable que, dans ces phénomènes dans lesquels l'excitabilité varie assez vite, toutes les fibres du muscle n'ont pas toutes la même chronaxie au même moment et qu'il s'en trouve qui ont une chronaxie dans un rapport convenable avec celle du nerf pour que leur excitabilité indirecte soit possible.

Les deux expériences concordent donc d'une façon très satisfaisante, dans l'ensemble.

Remarquons enfin que le 2^e blessé ne devait pas présenter de syndrome oculaire net, car je n'en ai pas remarqué et il n'en a été fait mention dans aucune des observations prises par les différents médecins qui ont vu le blessé entre sa blessure et son arrivée au Centre de Neurologie de la 10^e région. Au contraire, à plusieurs reprises, des examens électriques ont été pratiqués et, tour à tour, on mentionne de la lenteur de la contraction dans les muscles de la main et l'absence de toute lenteur.

Chez ces deux sujets, les troubles vaso-moteurs ont donc été la cause de contractions lentes, par excitation du nerf et du point moteur avec chronaxies légèrement augmentées au point moteur et normales sur le nerf.

b) *Contractions lentes par le nerf au cours de la régénération après dégénérescence.* — Chez les deux sujets précédents, il s'agissait de contractions lentes, en rapport avec des troubles circulatoires, sans grosse lésion anatomique des nerfs moteurs.

Ici, au contraire, il s'agit d'une blessure grave du plexus brachial avec dégénérescence, suivie de régénération.

M. A. — Blessé le 28 mai 1918 par balle entrée en avant dans le creux sus-claviculaire gauche, entre les deux faisceaux du sterno-cléido-mastoïdien, près de la clavicule et sortie en arrière près de l'articulation scapulo-humérale, à la hauteur de l'épine de l'omoplate. — Fracture de la clavicule. — Paralysie immédiate complète de tout

le plexus brachial. — Intervention chirurgicale le 26 octobre 1918, soit 5 mois après la blessure, par le P^r Gosset.

Le chirurgien trouve une section du tronc radio-circonflexe et un englobement des autres nerfs dans le tissu cicatriciel.

Suture du tronc radio-circonflexe et libération des autres troncs du plexus brachial.

Ce qui nous intéresse ici, ce n'est pas le tronc suturé, c'est le nerf cubital qui a été libéré au niveau de ses origines au plexus. C'est, en effet, ce nerf qui présente le phénomène que nous étudions et qui est apparu au cours de la régénération.

Expérience du 13 janvier 1921. — 32 mois après la blessure, 27 mois après l'intervention chirurgicale. — A ce moment, les mouvements volontaires sont bons dans le domaine du cubital à l'avant-bras. Il y a encore de la paralysie du domaine cubital à la main.

L'excitation du nerf cubital au coude est efficace pour le cubital antérieur et pour les deux faisceaux internes (4^e et 5^e doigts) du fléchisseur profond.

Cette excitation, avec une intensité suffisante, provoque une contraction vive du faisceau fléchisseur profond du 4^e doigt et du cubital antérieur et, avec un léger retard sur les deux muscles, une contraction lente du faisceau fléchisseur profond du 5^e doigt. Ce qui est lent, c'est surtout la décontraction. Le phénomène est rendu très net, parce qu'on voit la phalangette du 4^e doigt se fléchir brusquement et se relâcher brusquement, alors qu'on voit celle du 5^e doigt se fléchir avec un retard léger sur celle du 4^e et se relâcher avec un retard encore plus grand.

Un léger déplacement latéral de l'électrode fait apparaître une contraction vive du fléchisseur du 5^e doigt: le nerf et le muscle paraissent donc bien constitués par des fibres de rapidité différente.

La preuve que la contraction lente est bien obtenue par excitation du nerf et non par diffusion est donnée par le fait qu'il suffit de mettre l'électrode quelques millimètres à côté du nerf pour supprimer toute excitation, ce qui n'arrive pas quand il y a excitation par diffusion. D'autre part, on continue à obtenir les contractions lentes en excitant le nerf à la face interne du bras en s'éloignant du coude. Enfin, sans déplacer l'électrode, on obtient une contraction vive ou lente du faisceau du 5^e doigt du fléchisseur profond, en variant les conditions d'intensité et de durée de passage du courant.

J'ai pu prendre successivement les seuils vifs et les seuils lents par le nerf, répéter en somme sur les diverses fibres du nerf cubital innervant le faisceau fléchisseur profond du 5^e doigt, l'expérience que j'ai rapportée précédemment des deux chronaxies prises sur le muscle, sans changer la situation de l'électrode.

Lorsque l'excitation est faite dans les conditions dans lesquelles la contraction du fléchisseur profond du 5^e doigt est vive, il n'y a plus de différence entre les temps perdus du faisceau de ce doigt et celui du 4^e doigt.

Toutes ces expériences prouvent l'existence de contractions lentes par le nerf. Elles sont confirmées par les mesures de chronaxie suivantes :

Nerf cubital gauche excité à la face interne du bras.

RHÉOBASE			CHRONAXIE			$\frac{\tau}{\tau_0}$
FORME DU SEUIL	VOLTAGE	INTENSITÉ	FORME DU SEUIL	τ	SIGNIFICATIONS	
1^o Seuils du fléchisseur profond du 4^e doigt,						
Vif	85 v	5 mA,6	Vif	1 σ ,08	Fibres vives. . .	3,6
2^o Seuils du fléchisseur profond du 5^e doigt.						
1^{re} POSITION DE L'ÉLECTRODE.						
1 ^{re} Lent . .	92 v	7 mA	Vif	1 σ ,44	τ globale. . . .	4,8
			Lent	12 σ	Fibres lentes. . .	40
2 ^{re} Vif . .	132 v	10 mA,4	Vif	0 σ ,52	Fibres vives. . .	1,7
2^e POSITION DE L'ÉLECTRODE						
<i>Placée un peu plus haut sur le nerf.</i>						
1 ^{re} Lent . .	119 v	7 mA,9	Vif	2 σ ,72	τ globale. . . .	9
			Lent	9 σ ,2	Fibres lentes. . .	30
2 ^{re} Vif . .	168 v	12 mA,5	Vif	0 σ ,92	Fibres vives. . .	3

Les résultats des deux séries de mesures du fléchisseur profond du 5^e doigt concordent d'une manière très satisfaisante pour une expérience aussi délicate puisque, pour chacune des catégories de fibres, on ne peut prendre la première contraction qu'à l'une ou l'autre des deux mesures (à la rhéobase pour les fibres lentes, à la chronaxie pour les fibres vives). Nous trouvons en effet la chronaxie des fibres lentes égale à 40 fois la chronaxie normale dans une mesure et 30 fois dans l'autre ; celle des fibres vives égale à 1,7 fois dans une mesure et 3 fois dans l'autre.

Ensuite, j'ai mesuré la chronaxie des points moteurs et des fibres musculaires excitées longitudinalement :

Points moteurs et excitation longitudinale.

SIÈGE DE L'EXCITATION	RHÉOBASE		CHRONAXIE	CONTRACTION
	VOLTAGE	INTENSITÉ		
1° Faisceau du 4 ^e doigt.				
Point moteur	97 v	3 mA,7	6σ,8	Lenteur légère et galvanotonus.
Excitation longitudin..	131	9 mA,2	6σ,8	Galvanotonus à début assez brusque.
2° Faisceau du 5 ^e doigt.				
Point moteur	130	8 mA,9	10σ,8	Lenteur et galvanotonus.
Excitation longitudin..	131	9 mA,2	12σ	id.

En comparant la chronaxie prise sur le nerf aux chronaxies prises sur le muscle pour chacun des deux faisceaux du fléchisseur profond, on trouve l'isochronisme pour les fibres lentes du faisceau fléchisseur profond du 5^e doigt. Mais on ne trouve pas d'isochronisme entre le nerf et le muscle ni pour les fibres vives du faisceau du 5^e doigt, ni pour celles du faisceau du 4^e doigt.

Nous trouvons donc, pour ces dernières fibres, ce qu'on trouve si souvent dans la dégénérescence partielle : sur le point moteur et par excitation longitudinale, on ne trouve que la chronaxie des fibres lentes. Sur le nerf, au contraire, on trouve la chronaxie des fibres vives : il n'y a, dans le nerf, que des fibres rapides ou des fibres trop différentes des fibres lentes du muscle pour pouvoir les exciter ; dans le muscle, il y a des fibres vives et des fibres lentes, mais on n'arrive pas à exciter les fibres vives masquées par les fibres lentes de rhéobase plus petite.

L'hétérochronisme du nerf par rapport aux fibres lentes du muscle empêche l'excitation indirecte de ces dernières.

Au contraire, l'isochronisme des fibres lentes du nerf et du muscle rend compte des contractions lentes par le nerf dans le faisceau du 5^e doigt. Dans le nerf, j'ai donc pu mettre en évidence les deux catégories de fibres. Sur le muscle, je n'ai pu déceler que les fibres lentes comme pour le faisceau du 4^e doigt.

Ces trois expériences permettent de conclure que la contraction lente par le nerf ne se produit que lorsqu'il y a des fibres isochrones dans le nerf et le muscle. Ce cas est réalisé rarement et il ne s'est réalisé, jusqu'à présent, sous mes yeux, que dans les cas spéciaux que je viens d'étudier.

Les expériences sur le 3^e sujet ont, en outre, l'intérêt de montrer une chronaxie relativement grande sur le nerf, chose qui ne s'était vue, jusqu'à présent, que dans les expériences de L. Lapique et H. Laugier¹ dans lesquelles la chronaxie du nerf est modifiée par striction progressive et dans celles de H. Cardot et H. Laugier sur l'électrotonus² (augmentation de la chronaxie du nerf par le cathélectrotonus).

Les troubles vaso-moteurs réalisés par la pathologie et les modifications spéciales à la régénération des nerfs sont donc capables de produire aussi l'augmentation de la chronaxie du nerf.

Dans la dégénérescence, nous avons vu de légères augmentations de la chronaxie du nerf, comparables à celle que produisent les troubles vaso-moteurs; aucun processus pathologique, par contre, ne donne de chronaxies aussi grandes sur le nerf que celle que nous voyons dans la régénération.

C. — Action des courants progressifs dans la myopathie.

Séparation par ces courants des fibres vives et lentes d'un même muscle.

Des expériences avec les courants progressifs sur la myopathie m'ont donné une preuve de plus du mélange de fibres dans ces muscles et de la localisation de l'excitation, tantôt dans le nerf, tantôt dans la fibre musculaire, lorsque l'électrode est placée au point moteur.

J'ai employé, pour la production des courants progressifs, le procédé de L. Lapique de la fermeture d'un courant galvanique traversant un circuit comprenant une capacité en dérivation³.

Chez le malade dont j'ai donné plus haut les chronaxies (M. R.) j'ai comparé l'excitation au point moteur et par excitation longitudinale dans le nerf avec le courant galvanique, le courant progressif et une onde brève.

Voici les résultats de cette expérience :

Expérience du 20 janvier 1920. Elle a porté sur le biceps, le fléchisseur profond des doigts et l'extenseur commun. Le biceps et l'extenseur commun présentent seulement le galvanotonus. Le fléchisseur profond a une contraction myotonique.

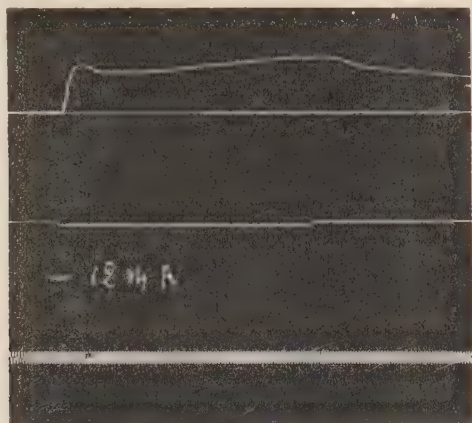
Sur tous ces muscles, au point moteur, il y a une différence marquée aux pôles positif et négatif.

1. L. LAPIQUE et H. LAUGIER. Modifications dans l'excitabilité du nerf par une striction progressive. *C. R. Soc. de Biol.*, t. LXIX, p. 46, 1910.

2. H. CARDOT et H. LAUGIER. Variation des paramètres caractéristiques de l'excitabilité des nerfs sous l'influence de l'électrotonus. *C. R. Soc. Biol.*, t. LXXVI, p. 249, 1914.

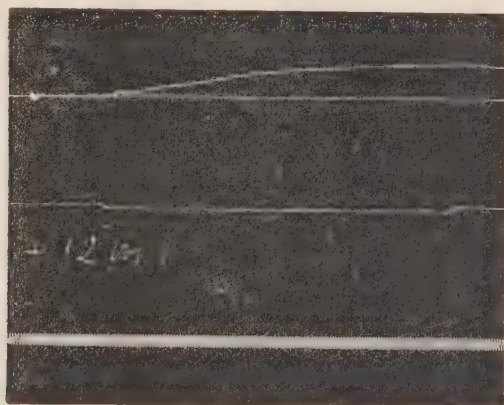
3. L. LAPIQUE. *Loc. cit.*

Avec le pôle négatif, la myotonie ou le galvanotonus sont précédés d'une secousse brève. Au contraire, au pôle positif, le galvanotonus



I. Négative.

Cette forme de la contraction est obtenue aussi lorsque la grande électrode, négative, est au point moteur, et la petite, positive, sur le tendon.



II. Positive.

Cette forme est obtenue aussi pour :

- 1° Petite électrode sur le tendon, négative ou positive.
- 2° Excitation bipolaire du muscle.

FIG. 30. EXCITATION MONOPOLAIRE DU FLÉCHISSEUR SUPERFICIEL DES DOIGTS.
(MALADIE DE THOMSEN).

Petite électrode au point moteur du muscle.

ou la myotonie s'établissent lentement, progressivement, sans être précédés de secousse brève.

Les muscles de ce malade sont donc le siège exactement des mêmes phénomènes que ceux que représentent les graphiques de la

fig. 30 qui ont été pris sur un malade atteint de maladie de Thomsen.

J'ai montré, dans mes travaux antérieurs (avec H. Laugier), que cette forme différente de la contraction tient non pas à une différence d'action polaire, mais à ce que le pôle positif n'excite pas à la fermeture et n'agit que par un pôle négatif virtuel situé profondément dans le muscle.

La secousse brève du début au pôle négatif est due à ce qu'on excite le nerf au point moteur. C'est donc à une différence de tissu excité et non à une différence d'action polaire qu'il faut rattacher la différence de forme de la contraction.

La preuve en est que, si l'on met l'électrode sur le tendon, pour faire l'excitation longitudinale, ce qui réalise une excitation prédominante de la fibre musculaire dans les états pathologiques, les deux pôles donnent la forme de la contraction que donne le pôle positif au point moteur.

Au contraire, quand on place l'électrode sur le nerf, on n'obtient, avec les deux pôles, qu'une secousse brève, sans myotonie ni galvanotonus.

Ces faits constatés, j'ai comparé, avec le pôle négatif, l'excitation au point moteur, sur le nerf et par excitation longitudinale avec 3 sortes d'ondes :

Un courant prolongé établi instantanément,

Un courant progressif,

Une onde brève (décharge de condensateurs ou onde induite isolée).

Voici ce qu'on obtient :

1° Au point moteur, avec le pôle négatif :

a) *Courant galvanique*. — Secousse brusque suivie de la contraction galvanotonique ou de la contraction myotonique, suivant le muscle considéré ;

b) *Courant progressif*. — (10 à 20 microfarads en dérivation). — La secousse brusque du début est supprimée ; on n'a plus que le galvanotonus ou la myotonie à établissement lent et progressif. C'est la même forme de contraction que celle que donne le pôle positif au point moteur ou les deux pôles en excitation longitudinale, avec le courant galvanique établi brusquement ;

c) *Onde brève*. — (Onde induite ou onde de décharge d'un condensateur).

Supprime le galvanotonus ou la myotonie et ne laisse subsister que la secousse brève : c'est ce que donne, aux deux pôles, l'excitation du nerf par le courant galvanique à établissement instantané.

2° Sur le nerf : en faisant la même expérience sur le nerf, on obtient dans toutes les conditions uniquement la secousse vive.

3° Excitation longitudinale : par excitation longitudinale, on obtient seulement la myotonie ou le galvanotonus avec le courant galvanique et le courant progressif et rien avec le faradique. Avec la décharge de condensateurs, on obtient la myotonie avec un voltage très élevé et une grande capacité.

Sur le nerf, comme par excitation longitudinale, la substitution d'un courant progressif au courant galvanique ordinaire ne change rien à la forme de la contraction. Mais sur le nerf, il faut augmenter beaucoup l'intensité tandis que, par excitation longitudinale, elle est très peu ou même pas modifiée.

Cette expérience confirme donc pleinement mes conclusions anciennes.

Le muscle myopathique est donc bien composé de deux éléments, des fibres rapides et des fibres lentes et l'action différente des pôles au point moteur tient à ce qu'il n'y a d'excitation de fermeture que par le pôle négatif : le pôle négatif agit directement sur le nerf et donne la secousse brusque du début. La période d'état stable du courant agit sur les fibres lentes et donne le galvanotonus ou la myotonie : le pôle positif agit à distance, par un pôle négatif physiologique qui se forme en plein muscle et excite seulement les fibres lentes : le nerf n'est pas dans la zone d'excitation.

Ainsi, je reproduis encore, au sein d'un même muscle, l'expérience de l'excitation sélective que L. Lapicque a faite en mettant deux muscles de rapidité différente dans le circuit.

Le courant progressif met en évidence, au point moteur, les fibres myotoniques que la chronaxie a révélées par excitation longitudinale. L'onde brève ne fait contracter que les fibres vives, de petite chronaxie, révélées par la mesure de la chronaxie avec le pôle négatif sur le nerf ou le point moteur.

Sans changer le pôle, le courant progressif met en évidence les fibres que le courant brusque ne révèle qu'avec le pôle diffus (électrode instrumentale positive).

On comprend donc qu'il arrive qu'on trouve, au point moteur, avec le pôle négatif, une chronaxie normale et que, cependant, un courant d'intensité suffisante puisse révéler une contraction lente ou galvanotonique ou myotonique : on démontre ainsi leur existence, mais on n'a pas mesuré leur chronaxie. Ces faits ne pourraient donc être invoqués contre la classification des contractions pathologiques par la chronaxie que j'ai donnée.

L'excitation au point moteur, purement nerveuse à l'état normal, est bien une excitation complexe, mettant en jeu tantôt un ordre de fibres, tantôt un autre, suivant les conditions de durée et d'intensité du courant et de localisation du pôle physiologique négatif.

Je n'ai pas répété, sur les muscles en état de dégénérescence par-

lielle, les expériences avec les courants progressifs. Ce que nous savons maintenant de l'identité des phénomènes physiologiques dans la dégénérescence, la myopathie et la maladie de Thomsen, permet de généraliser de l'une à l'autre.

D. — Évolution de la chronaxie pendant la dégénérescence et la régénération des nerfs et des muscles.

1° **Dégénérescence.** — a) *Début.* — Quand on suit l'évolution de la chronaxie pendant la dégénérescence, on voit que, dans une première période, les modifications de la chronaxie sont le seul signe révélateur du processus. Ensuite, la contraction se modifie dans sa forme. Je n'ai pas eu l'occasion de suivre beaucoup de dégénérescences depuis la période tout initiale. Cependant, d'après quelques observations, il semble bien que le début de la dégénérescence soit marqué par une diminution de la chronaxie qui peut descendre jusqu'à $1/2$ ou $1/3$ de sa valeur. Puis elle augmente, repasse par la normale, et la dépasse ensuite considérablement.

Le stade de diminution de la chronaxie est un stade évidemment très court, de sorte qu'il échappe facilement à l'observation, et qu'il est difficile d'établir formellement ce fait d'une manière générale. J'ai eu cependant l'occasion d'observer une malade qui apporte un appoint très important à la solution de ce problème.

Il s'agit d'une femme atteinte de sclérose latérale amyotrophique à forme hémiplegique que j'ai examinée en octobre 1919. L'observation clinique a été publiée par Pierre Marie, Ch. Chatelin et H. Bouttier à la Société médicale des Hôpitaux¹.

Cette malade présentait une localisation cliniquement exclusive au côté droit du corps. De fait, l'examen n'a révélé de dégénérescences caractérisées avec contractions lentes et grandes chronaxies (10 σ et plus) que de ce côté. Mais, du côté gauche, la chronaxie présentait quelques altérations, sans aucune modification de la forme de la contraction d'ailleurs, qui m'ont fait dire que la localisation était prédominante à droite mais non exclusive.

Si du côté droit, certains muscles présentaient une dégénérescence caractérisée, avec contractions lentes et chronaxies de 10 σ à 20 σ , d'autres muscles, comme le biceps et le deltoïde, ou le long supinateur ne présentaient ni lenteur, ni chronaxie très grande, mais seulement une augmentation de la chronaxie d'environ 2 à 4 fois la normale sans altération de la contraction.

Au membre supérieur gauche, à côté de muscles présentant une chronaxie de 3 ou 4 fois la normale, comme le long supinateur et comme les muscles cités à droite, il s'en trouvait d'autres, le biceps

1. PIERRE MARIE, CH. CHATELIN et H. BOUTTIER. Forme hémiplegique de sclérose latérale amyotrophique. *Bull. de la Soc. des Hôpitaux*, 7 novembre 1919.

et le deltoïde en particulier, dont la chronaxie était diminuée (1/2 environ).

Dans le résumé de l'examen électrique inséré dans la note de Pierre Marie, Ch. Chatelin et H. Bouttier, je n'ai pas signalé ces chronaxies diminuées, parce que, à l'époque, je n'en avais pas encore l'interprétation.

Depuis cette époque, j'ai observé plusieurs fois des chronaxies diminuées sur des sujets ayant par ailleurs des muscles en état de dégénérescence confirmée, et j'ai pensé que c'était là le stade initial du processus de la dégénérescence. Cette opinion vient de recevoir une confirmation anatomique. La sclérose latérale amyotrophique de notre malade a continué son évolution et s'est terminée par la mort. L'examen anatomo-pathologique du système nerveux pratiqué au Laboratoire de M. le Professeur Pierre Marie a confirmé les localisations prédominantes à droite mais *non exclusives* et on a trouvé notamment des lésions nettes, mais assez légères, des cornes antérieures à *gauche*. Cet examen anatomique vient d'être publié en détail par les auteurs de l'observation clinique¹.

Ainsi, mes conclusions de 1919, tirées de l'examen avec la chronaxie, sont confirmées par les résultats de l'examen anatomique.

Les petites variations de la chronaxie, soit un peu diminuée, soit un peu augmentée, sont bien conditionnées par un début de dégénérescence.

Le fait que je n'ai trouvé de chronaxies diminuées que du côté où il n'y avait encore aucune dégénérescence confirmée au membre supérieur, alors qu'il n'y avait plus que des chronaxies augmentées du côté opposé, dont l'évolution était plus avancée, montre bien que la diminution de la chronaxie est le premier phénomène en date au cours de la dégénérescence wallérienne. J'ajouterai qu'il me paraît vraisemblable que cette diminution soit constante au début de ce processus, alors qu'on n'observe aucune modification de la contraction ni aucun autre signe clinique révélateur de la lésion en évolution.

Cet examen anatomique présente donc pour nous une grande valeur.

Les variations de la chronaxie, en plus ou en moins, à cette période initiale de la dégénérescence, sont du même ordre de grandeur que les variations semblables qu'on observe dans un syndrome fréquent chez les blessés de guerre et connu sous le nom de syndrome d'irritation et dans les modifications de la chronaxie que j'ai groupées sous le nom de « *répercussions* ».

Aussi, à mon avis, me semble-t-il qu'il n'y a aucune différence essentielle entre tous ces processus et qu'il faut les considérer tous comme un processus de dégénérescence arrêté à la période initiale de son évolution.

1. *Bulletin et Mémoires de la Société médicale des Hôpitaux de Paris*, 29 mars 1925, p. 481.

Dans cette période, la chronaxie varie en moins entre la normale et le $\frac{1}{3}$ de la normale, et, en plus, depuis la normale jusqu'à environ 4 ou 5 fois la valeur normale. Avec ces valeurs de la chronaxie, on peut observer un certain ralentissement de la décontraction, mais rien de plus.

b) *Deuxième période. — Constitution du syndrome.* — Dans une deuxième période, la dégénérescence s'accroissant, la chronaxie augmente considérablement et rapidement. En quelques semaines, ou même en quelques jours, elle atteint sa valeur maxima en même temps qu'apparaissent les grosses modifications de la contraction que nous avons étudiées. D'abord galvanotonique à début brusque, la contraction devient lente avec galvanotonus, puis lente sans galvanotonus.

Dans cette période de transformation, il n'y a pas le parallélisme si net que nous avons vu entre la forme de la contraction et la valeur de la chronaxie. En général, l'évolution de la chronaxie est plus rapide que celle de la forme de la contraction, de sorte que la chronaxie est plus grande que ne le ferait supposer la forme de la contraction. Le fait est surtout facile à voir dans le cas de section d'un nerf.

A la fin de cette période, le syndrome est entièrement constitué; la chronaxie atteint des valeurs dépassant 5 fois la normale et augmentant progressivement jusqu'à 50 fois environ et plus, et la contraction prend peu à peu tous ses caractères de lenteur.

c) *Troisième période. — Période d'état.* — On peut appeler cette période la période d'état. A ce moment, la contraction présente la lenteur caractéristique et la chronaxie a atteint sa valeur maxima. C'est vers le 2^e ou le 5^e mois après la section que le syndrome de la dégénérescence a toute son ampleur. La valeur de la chronaxie, je l'ai déjà dit, est alors en rapport avec la forme de la contraction. C'est dans cette période qu'on observe les valeurs de 40 σ à 60 σ et plus.

d) *Quatrième période.* — Au delà du 7^e ou du 8^e mois, la chronaxie paraît diminuer de nouveau, mais pour rester aux environs de 10 σ à 20 σ , après quoi, elle ne change plus, tant que le muscle reste excitable. En même temps que cette diminution de la chronaxie on observe une diminution de la lenteur de la contraction qui reprend le caractère galvanotonique du début. Cette diminution de la chronaxie n'est pas toujours très nette et souvent la chronaxie reste entre 30 σ et 50 σ à cette période.

Ce point demanderait à être précisé dans des recherches expérimentales.

Peu à peu, si la régénération n'intervient pas, les fibres musculaires se résorbent; l'amplitude de la contraction diminue, et, peu à peu, on arrive à l'inexcitabilité du muscle, pour les courants maxima qu'on

peut utiliser chez l'homme sans provoquer des douleurs intolérables, soit de 15 à 20 mA avec de petites électrodes.

C'est dans cette période terminale qu'il faut faire intervenir la notion d'amplitude de la contraction sur la signification de laquelle j'ai attiré l'attention en pathologie. L'amplitude de la contraction, en effet, ne dépend pas de l'excitabilité, mais du nombre des fibres. J'ai vu souvent la confusion être faite et le terme de « diminution d'excitabilité » employé pour désigner la diminution d'amplitude.

2° Régénération. — Lorsque le muscle et le nerf se régénèrent, on assiste à des phénomènes à peu près semblables, mais de marche inverse que pendant la dégénérescence.

Cependant, il y a quelques particularités sur lesquelles je désire attirer l'attention.

D'abord, on peut observer les contractions lentes par le nerf, que je viens d'étudier, mais ce phénomène est rare.

En second lieu, j'ai fréquemment observé, pendant la régénération, surtout après suture d'un nerf sectionné, un fait curieux. Ce n'est pas toujours au point moteur qu'on trouve d'abord la chronaxie la plus petite, c'est souvent par excitation longitudinale.

Le fait est surtout net dans le domaine du radial. Je ne l'ai pas observé dans le domaine du médian ni du cubital.

Cela se produit à peu près au moment où l'excitabilité par le nerf reparaît.

Alors que, dans tous les exemples que j'ai donnés, pris parmi des muscles en état de dégénérescence, nous avons vu la chronaxie être plus petite sur le point moteur que par excitation longitudinale, pendant la régénération c'est souvent l'inverse.

Bien plus, dans la régénération, tandis qu'au point moteur, avec le pôle négatif, on ne trouve qu'une seule chronaxie, par excitation longitudinale, on peut souvent en trouver deux, dont l'une est égale à celle qu'on trouve sur le point moteur et l'autre, plus petite, est voisine de celle du nerf. C'est d'ailleurs sur les muscles qui ont une chronaxie plus petite par excitation longitudinale qu'au point moteur que ce phénomène se voit. Je ne l'ai vu aussi, jusqu'à présent, que dans les muscles innervés par le radial.

Ce fait prouve, probablement, que toutes les fibres ne sont pas ensemble au même degré de régénération. A l'homogénéité relative que présentait le muscle en état de dégénérescence totale, inexcitable par le nerf, succède une hétérogénéité que révèlent les chronaxies multiples.

Mais il est plus difficile d'expliquer pourquoi c'est par excitation longitudinale qu'on trouve le mieux la plus petite chronaxie.

En tout cas, au moment où l'excitabilité par le nerf reparaît, on voit toujours reparaître un certain isochronisme entre le nerf et le

muscle, que cet isochronisme se révèle au point moteur, comme dans la plupart des muscles, ou par excitation longitudinale, comme dans le domaine du nerf radial. De toute manière, dans tous les muscles, on trouve toujours à un moment donné deux chronaxies sur le muscle. A l'homogénéité, au moins relative de la dégénérescence totale, la régénération substitue de nouveau l'hétérogénéité.

La particularité observée sur les muscles innervés par le radial, du renversement du rapport de la chronaxie du point moteur à celui de l'excitation longitudinale, s'explique probablement par des conditions anatomiques spéciales déterminant des conditions particulières de distribution du courant dans le muscle. En l'absence de recherches expérimentales, nous ne pouvons faire que des hypothèses. Peu importe, d'ailleurs, que sur tel muscle on trouve la petite chronaxie pour une position de l'électrode et sur tel autre, pour la situation inverse, le fait fondamental est toujours le même : le muscle a deux chronaxies au moment où l'excitabilité par le nerf revient ou va revenir et l'une des deux est suffisamment voisine de celle du nerf pour permettre l'excitation indirecte.

Plus tard, ce phénomène s'atténue, puis disparaît. Les chronaxies mesurées sur le point moteur et par excitation longitudinale se rapprochent. A ce moment généralement, sur les muscles qui ont une chronaxie plus grande au point moteur que par excitation longitudinale, la chronaxie de l'excitation longitudinale augmente un peu en même temps que celle du point moteur diminue; on observe l'inverse dans les muscles qui ont une chronaxie plus petite au point moteur que par excitation longitudinale. Ces oscillations de la chronaxie se retrouvent sur tous les graphiques d'évolution.

Ainsi, en étudiant tous les problèmes que nous pose la pathologie, on aboutit à confirmer la loi de la nécessité de l'isochronisme ou, du moins, d'un hétérochronisme limité de la fibre nerveuse et de la fibre musculaire pour que l'excitation indirecte soit possible.

En étudiant la régénération après suture des nerfs sectionnés, j'ai pu me convaincre que les sutures précoces n'arrêtent pas complètement le processus de dégénérescence.

Mais la valeur de la chronaxie n'arrive pas, en général, à être aussi grande après la suture précoce que lorsque le processus dégénératif a évolué complètement avant la suture.

La suture précoce paraît donc tout de même préférable.

La régénération pose un autre problème : un nerf qui a été sectionné et le muscle qui l'innerve peuvent-ils, après la suture et la régénération, revenir à l'état antérieur ou conservent-ils toujours une modification irréductible de leur chronaxie?

Ce problème est impossible à résoudre actuellement. Il est difficile de revoir, à échéance lointaine, les anciens opérés qui vont bien. Cependant, j'ai revu en 1925 un blessé dont le nerf radial avait été

suturé en 1918, il y a cinq ans. La réparation clinique est très bonne. La sensibilité est réparée, tous les mouvements volontaires s'exécutent : la seule différence que présente le blessé avec un sujet normal est que la force musculaire est moindre. Chez ce blessé, guéri cliniquement, au bout de cinq ans, la *chronaxie n'est pas encore normale* sur tous les muscles. Aucun des blessés que j'ai suivis n'avait repris la chronaxie normale sur tous les muscles, malgré la restauration clinique. Il faudrait revoir ces malades dans un laps de temps beaucoup plus long, 10 ans, 15 ans, peut-être davantage, pour savoir si le retour de la chronaxie à sa valeur normale est toujours possible. Il ne semble pas qu'il puisse être toujours complet pour les lésions aussi graves pour un nerf que la section. Tout au moins il demande un délai dépassant 5 ans.

Dans les lésions nerveuses légères, sans section, avec seulement dégénérescence partielle, au contraire, j'ai vu souvent le retour complet de la chronaxie à sa valeur normale.

Voici quelques observations qui mettent bien ces faits en évidence. C'est sur des blessés ayant eu des sections nerveuses complètes, suivies de sutures, que l'étude de l'évolution de la chronaxie se fait avec le plus de facilités pour les raisons suivantes :

1° Ce sont les malades qu'on suit le plus facilement pendant un temps prolongé.

2° Une section de nerf constitue une véritable expérience surtout quand on a la chance qu'il n'y ait pas d'infection et il y en a des cas. D'autre part, l'intervention chirurgicale a permis de constater, *de visu*, la lésion et on connaît avec certitude l'état du nerf.

C'est donc exclusivement quelques cas de section de nerfs opérés avec succès que je vais exposer à titre de véritables expériences sur la dégénérescence et la régénération.

Ces observations se groupent en deux séries :

1° les sutures tardives ;

2° les sutures précoces.

Les dernières seules peuvent servir à l'étude de la dégénérescence car, si la suture a été précoce, c'est parce que les blessés ont été soumis à notre observation dès les premiers jours de leur blessure. Je n'ai même pu suivre l'évolution de la dégénérescence que dans ces sections nerveuses. Sur un nombre assez considérable de sutures nerveuses, je n'ai pu en suivre que dix d'une façon suffisante. C'est sur l'étude de ces dix observations que je m'appuie pour établir les faits que je viens d'exposer. Il est inutile d'exposer ces dix observations qui se ramènent toutes à deux ou trois types. Il me suffira de donner les principales observations de chaque série pour appuyer ce que j'ai dit de l'évolution de la dégénérescence et de la régénération.

J'ai dressé le graphique de l'évolution de la chronaxie pour tous les muscles étudiés dans toutes ces observations. Ces graphiques, dans

chacune des deux séries, sont tous comparables. Je ne les donne donc pas tous. Pour chaque sujet, les courbes des différents muscles sont aussi très comparables : elles diffèrent entre elles surtout par le temps d'évolution de la régénération. On sait, en effet, que la régénération est d'autant plus longue que la longueur du nerf est plus grande. Pour chaque nerf, les différents muscles se régénèrent les uns après les autres, dans un ordre déterminé. Au facteur temps près, les phénomènes sont les mêmes. Je ne ferai donc pas l'étude de tous les muscles d'un même sujet. J'en choisirai un, celui que j'ai étudié le plus régulièrement : naturellement c'est, dans chaque domaine nerveux, celui qui se répare le premier.

Première série. — Sutures tardives.

Sujet I¹. — M. L. Aimable. 22 ans. — Blessé le 30 août 1917 par balle à l'aisselle gauche. Opéré le 2 novembre 1917, soit six mois (186 jours) après la blessure, par les docteurs Ch. Dujarier et François; section complète du radial gauche. Suture.

Résumé de l'histoire clinique.

9 Janvier 1918. — 2 mois après l'opération, il apparaît de légers fourmillements à la pression du nerf.

31 Mai. — Ébauche de relèvement du poignet.

16 Juillet. — 8 mois après l'opération. Apparition de mouvements volontaires : le long supinateur et les radiaux se contractent, mais avec une synergie paradoxale. En effet, le long supinateur ne se contracte pas pendant la flexion volontaire de l'avant-bras, mais il se contracte énergiquement pendant le relèvement du poignet. Les autres muscles du domaine radial sont encore paralysés complètement.

Le blessé était donc en voie de régénération très nette au point de vue clinique; évacué, il n'a pas été revu.

Pendant cette évolution clinique, j'ai suivi la marche de la chronaxie sur le long supinateur et les radiaux. Ces derniers n'ont été vus qu'aux deux derniers examens.

Evolution de la chronaxie.

La chronaxie a commencé à diminuer dès le deuxième mois après la suture, au point moteur du long supinateur. Dans cette suture tardive, on entre, aussitôt après la suture, dans le processus de régénération.

Le détail de l'évolution de la chronaxie est donné dans le tableau suivant :

1. Observation publiée dans la thèse de médecine du D^r FRANÇOIS qui a aidé à opérer ou a opéré lui-même les blessés que j'ai étudiés au point de vue de l'évolution de la chronaxie : « Traitement chirurgical des sections nerveuses. Évolution de la section et de la réparation des nerfs suivie par l'examen électrique et en particulier par la mesure de la chronaxie. » *Thèse de la Fac. de Méd.*, Paris, 1918, ob. X, p. 251.

DATE ET NOMBRE DE JOURS APRÈS LA BLISSURE.	LONG SUPINATEUR					4 ^{er} RADIAL EXTÉRIEURE		PHÉNOMÈNES CLINIQUES
	POINT MOTEUR		EXCITATION LONGITUDINALE		NERF	POINT	EXCITATION	
	τ	CONTRACTION	τ	CONTRACTION		τ	τ	
17 oct. 1917. — 170.	28 σ	{ Galvanoton. Amplitude faible.	48 σ	{ Très lente sans galvanotonus	Inexcitable avec 45 mA			Paralysie complète. Suture. Paralysie complète. Légers fourmillements à la pression. Les fourmillements augmentent. { Mouvements volontaires depuis le 31 mai.
2 nov. 1917. — 186.								
9 janv. 1918. — 254.	24 σ	{ Fort galvanotonus	56 σ	{ Très lente sans galvanotonus	Inexcitable			
15 mars 1918. — 319.	22 σ	{ Lente + galvanotonus	48 σ	{ Lente + galvanotonus	Inexcitable	48 σ	4 σ	
16 juillet 1918. — 442.	14 σ	id.	0 σ , 92	Vive	0 σ , 31	6 σ , 4	0 σ , 4	

L'évolution de la chronaxie vers la normale a été plus rapide pour la chronaxie mesurée par excitation longitudinale qu'au point moteur, aussi bien pour le long supinateur que pour les radiaux.

Les mouvements volontaires sont apparus, on peut dire, en même temps que l'excitabilité par le nerf, puisqu'ils sont apparus exacte-

ment dans l'intervalle des expériences, 2 mois 1/2 après l'examen où il y avait inexcitabilité par le nerf et 6 semaines avant celui où le nerf est excitable.

Le graphique met ces faits en évidence (voir fig. 31).

Remarquons qu'au moment où l'excitabilité par le nerf est revenue, le rapport entre la chronaxie du nerf et la plus petite chronaxie du

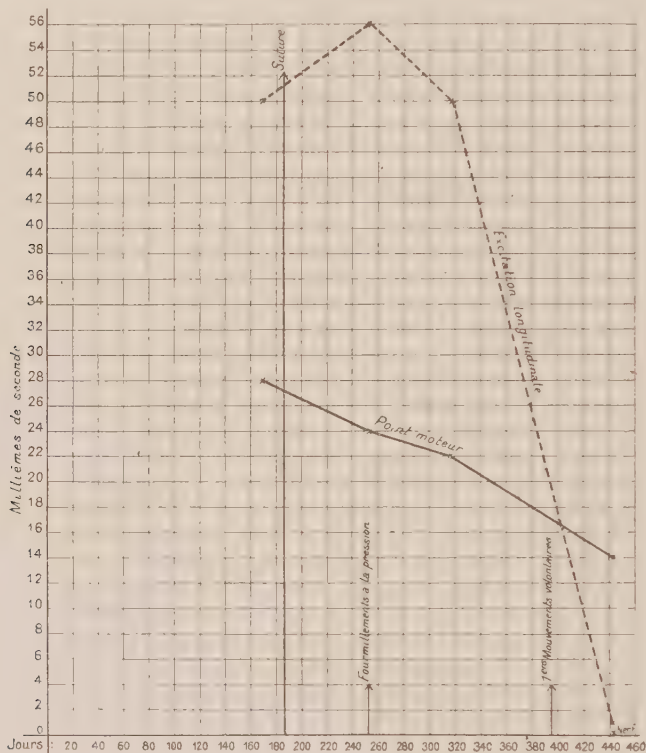


FIG. 31. — ÉVOLUTION DE LA CHRONAXIE APRÈS SUTURE DU NERF RADIAL.

Long supinateur. — Suture tardive. — Sujet I. L., Aimable.

Blessé le 30 août 1917. 1^{er} examen : 17 octobre 1917. Suté le 2 novembre 1917.

muscle est à peine supérieur à 2 pour le long supinateur et à peine supérieur à 1 pour les radiaux.

Sujet II¹. — M. F., Pierre, 22 ans. — Blessé le 27 Septembre 1915 par balle au milieu de la région externe du bras droit, sur le trajet du nerf radial. — Fracture de l'humérus. — Au premier examen, le 9 mars 1916 (5 mois 1/2 après la blessure), on constate une paralysie

I. Observation XI de la Thèse de R. FRANÇOIS, p. 254.

radiale complète et une pseudarthrose de l'humérus. — Opéré le 11 mai 1916, soit 8 mois après la blessure par le Dr Ch. Dujarier. — Section complète du radial. — Suture du nerf et suture osseuse dirigée contre la pseudarthrose.

Résumé de l'évolution clinique, après la suture.

1^{er} août 1916 (2 mois 1/2 après l'opération). — Paralysie complète. Atrophie musculaire considérable.

24 octobre 1916 (5 mois 1/2 après la suture. — Aucun changement dans l'état clinique.

28 février 1917 (9 mois après l'opération). — Apparition d'un léger mouvement de redressement du poignet dont le blessé s'est aperçu vers le milieu du mois de décembre précédent, étant en congé de convalescence. C'est donc environ 7 mois après la suture que le premier signe clinique de régénération est apparu.

Augmentation progressive des mouvements volontaires. On constate, le 28 février :

1^o Action forte du long supinateur dans la flexion de l'avant-bras.

2^o Action des radiaux qui relèvent le poignet assez énergiquement.

3^o Mouvements de supination de force satisfaisante.

4^o Ébauche d'extension et abduction du pouce.

5^o L'extenseur commun est encore paralysé, ainsi que le cubital postérieur.

Cette observation montre l'ordre de réparation normale que l'on constate chaque fois que l'on suit les opérés suffisamment longtemps pour voir les muscles se réparer les uns après les autres.

L'atrophie musculaire est maintenant très légère pour le long supinateur et les radiaux. Elle a diminué sur les autres muscles, mais elle y est encore assez marquée. L'extenseur commun et le cubital postérieur sont les muscles les plus atrophiés.

30 mai 1917 (un an après la suture). — Les muscles qui étaient le plus réparés au dernier examen se sont encore développés. L'extenseur commun et le cubital postérieur sont restés paralysés. Il s'agit vraisemblablement ici d'un cas de réparation d'une partie des fibres du nerf seulement.

Évolution de la chronaxie du long supinateur et des radiaux pendant la régénération.

Cette observation est particulièrement intéressante parce qu'elle révèle le processus de régénération pour ainsi dire pur. En effet, les muscles étaient tellement atrophiés avant la suture qu'ils étaient inexcitables avec 15 mA. Il n'y a donc eu aucun processus dégénératif contemporain de la régénération. Les détails de l'évolution de la chronaxie sont resumés dans le tableau suivant :

L'excitabilité du muscle est réparée 6 mois environ après la suture, mais avec une amplitude de contractions tellement faible qu'il n'y a pas eu moyen de mesurer un seuil. J'ai pu simplement constater, avec une forte intensité (10 mA environ) qu'on obtenait une petite contraction galvanotonique. Je n'ai donc pas pu prendre de chronaxies. Deux mois environ après l'apparition de cette petite contraction galvanotonique s'est montrée la première ébauche de mouvement volontaire. Deux mois après l'apparition de ces mouvements, qui ont progressé rapidement, la contraction était vive, la chronaxie petite et le muscle excitable par l'intermédiaire du nerf, avec isochronisme du nerf et du point moteur, aussi bien pour les radiaux que pour le long supinateur.

En effet, sur le long supinateur, les chronaxies sont de 0,64 au point moteur et 0,52 sur le nerf; pour les radiaux elles sont de 1,48 au point moteur et de 1,04 sur le nerf.

Les mouvements volontaires sont donc encore apparus à peu près en même temps que l'excitabilité du nerf. Les deux examens entre lesquels les premiers mouvements volontaires sont apparus ne sont pas assez rapprochés pour qu'on puisse dire lequel des deux phénomènes est apparu le premier. Ils sont assez rapprochés pour qu'on puisse considérer l'apparition des deux phénomènes comme sensiblement contemporaine. L'observation suivante démontrera l'antériorité de l'excitabilité du nerf sur les mouvements d'une façon indubitable.

Sur le long supinateur, on ne constate pas, chez ce blessé, un hétérochronisme du point moteur et de l'excitation longitudinale comparable à celui du sujet précédent et de tous les autres sujets que j'ai examinés. De tous ceux que j'ai vus, c'est certainement le sujet qui avait les muscles le plus atrophiés au moment de la suture. L'égalité ou la quasi-égalité de la chronaxie sur le point moteur et par excitation longitudinale montre bien que le muscle était plus homogène que chez les autres sujets au moment où la régénération a commencé.

A l'amélioration très rapide des chronaxies, entre le 13^e et le 17^e mois, a succédé une amélioration beaucoup plus lente entre le 17^e et le 20^e mois. Un an après la suture, la chronaxie du nerf et du point moteur est encore trois fois plus grande environ que la normale.

L'inexcitabilité prolongée rend inutile ici de dresser une courbe d'évolution de la chronaxie.

Sujet III. — Mlle D¹, Germaine.

Blessée le 25 Juillet 1917 : section des parties molles du poignet gauche à la face palmaire par un tesson de bouteille. — Section du nerf

1. G. BOURGUIGNON et CH. DUJARIER. Suture totale du nerf médian au poignet trois mois après la section. Restauration complète. Évolution de la chronaxie suivie pendant 15 mois. *Revue neurologique*, 1921, n° 1. p. 106 et in *Thèse FRANÇOIS*; obs. XXII, p. 294.

médian à deux travers de doigt au-dessus du pli articulaire du poignet.

Opérée le 19 octobre 1917, soit 3 mois après la blessure par le Dr Ch. Dujarier. — Section complète du nerf. — Suture.

Résumé de l'évolution clinique.

19 octobre 1917. — Examen avant l'opération qui a été faite le jour même (3 mois après la blessure). — Paralysie complète de l'éminence thénar. Anesthésie complète. Troubles trophiques (phlyctènes).

Après l'opération, la malade a pu être suivie pendant 15 mois, depuis le 19 octobre 1917, jusqu'au 31 janvier 1919, soit pendant 15 mois et 12 jours. A cette époque la restauration clinique était complète et la restauration de l'excitabilité électrique très avancée.

Dans cet intervalle de temps, la blessée a été examinée cliniquement et électriquement à huit reprises différentes, aux dates suivantes :

1^o 29 Novembre 1917. — 1 mois et 10 jours après l'opération.

2^o 20 Février 1918. — 3 mois et 7 jours après l'opération.

3^o 3 Mai 1918. — 6 mois et 14 jours après l'opération.

4^o 11 Juillet 1918. — 8 mois et 22 jours après l'opération.

5^o 28 Septembre 1918. — 11 mois et 8 jours après l'opération.

6^o 23 Novembre 1918. — 13 mois et 4 jours après l'opération.

7^o 26 Décembre 1918. — 14 mois et 7 jours après l'opération.

8^o 31 Janvier 1919. — 15 mois et 12 jours après l'opération.

Les phénomènes cliniques ont suivi l'évolution suivante :

1^o *Sensibilité.* — Dès le deuxième examen, 3 mois et 7 jours après l'opération, il apparaît des fourmillements à la pression sur le nerf et sur l'éminence thénar.

Un mois plus tard, la malade ressent des fourmillements spontanés dans tout le domaine du médian.

Au troisième examen, 6 mois et 14 jours après l'opération, l'anesthésie est remplacée par de l'hypoesthésie.

Au dernier examen, la sensibilité était complètement normale, aussi bien à la piqure qu'aux attouchements légers, mais il persistait des fourmillements à la pression : les fourmillements spontanés ont disparu.

2^o *Motilité.* — 3 semaines après le premier examen, c'est-à-dire environ 7 mois après l'opération, la malade s'aperçoit qu'elle peut faire un peu d'opposition du pouce.

Au quatrième examen, 8 mois et 22 jours après la suture, l'atrophie du thénar a beaucoup diminué, même pour la partie la plus externe.

L'opposition du pouce se fait maintenant complètement, aussi bien

pour opposer le pouce au petit doigt qu'aux autres doigts, main ouverte ou fermée.

Les examens suivans montrent l'augmentation progressive de la force musculaire et la diminution progressive de l'atrophie.

Evolution de la chronaxie du court fléchisseur du pouce pendant la régénération. (Voir fig. 32.)

J'ai suivi l'évolution de la chronaxie du court fléchisseur du pouce. Cette évolution est exposée dans le tableau suivant :

DATES ET TEMPS ÉCOULÉ DEPUIS LE JOUR DE LA BLESSURE	COURT FLÉCHISSEUR DU POUCE						PHÉNOMÈNES CLINIQUES
	POINT MOTEUR		EXCITATION LONGITUDINALE		NERF		
	τ	CONTRACTION	τ	CONTRACTION	τ	CONTRACT.	
19 oct. 1917 matin. 3 mois	70 σ	Lente				Inexcitable	Paralyisie et anesthésie totales.
19 oct. 1917 soir. 3 mois							Suture
29 nov. 1917 4 mois 10 j.	48 σ	Très lente	28 σ	Lente		Inexcitable	Paralyisie complète.
26 fév. 1917 7 mois 7 j.	22 σ	Lente		Lente		Inexcitable	Fourmillements à la pression.
3 mai 1918 9 mois 13 j.	12 σ	Lente et léger galvanotonus	22 σ	Lente	1 σ ,4	Assez vive	Anesthésie remplacée par hypoesthésie.
11 juillet 1918 41 mois 21 j.	13 σ	Lente	26 σ	Lente	1 σ ,3	assez vive	Mouvements depuis le 25 mai sensibilité normale.
28 sep. 1918 14 mois 7 j.	9 σ	Lente			1 σ	Assez vive	
23 nov. 1918 16 mois 2 j.	4 σ ,4	Galvanoton. à début brusque	7 σ ,2	Fort galvano- tonus à début brusque	0 σ ,92	Vive	Amélioration clinique progressive.
26 déc. 1918 17 mois 15 j.	4 σ ,8	Galvanoton. à début brusque	6 σ ,4	Fort galvano- tonus à début brusque	0 σ ,92	Vive	
31 janv. 1919 17 mois 10 j.	5 σ ,2	Galvanoton. à début brusque	6 σ ,8	Lente	0 σ ,96	Vive	

Cette observation montre l'évolution très régulière de la régénération après la suture. Le graphique de la figure 32 montre particulièrement bien cette régularité.

Dans ce cas, la chronaxie a commencé à diminuer dès les premières semaines après la suture comme dans l'observation du sujet I. Après une diminution assez rapide de la chronaxie pendant environ

41 mois, il n'y a eu que des modifications sans importance de la chronaxie. Il semble donc que, comme pour les précédents sujets, le retour à la chronaxie normale ne puisse se faire qu'à une échéance extrêmement lointaine.

Contrairement à ce que nous avons vu dans l'une des deux observations de suture du radial, la chronaxie du point moteur est restée plus petite, sauf au début, que celle de l'excitation longitudinale, sans

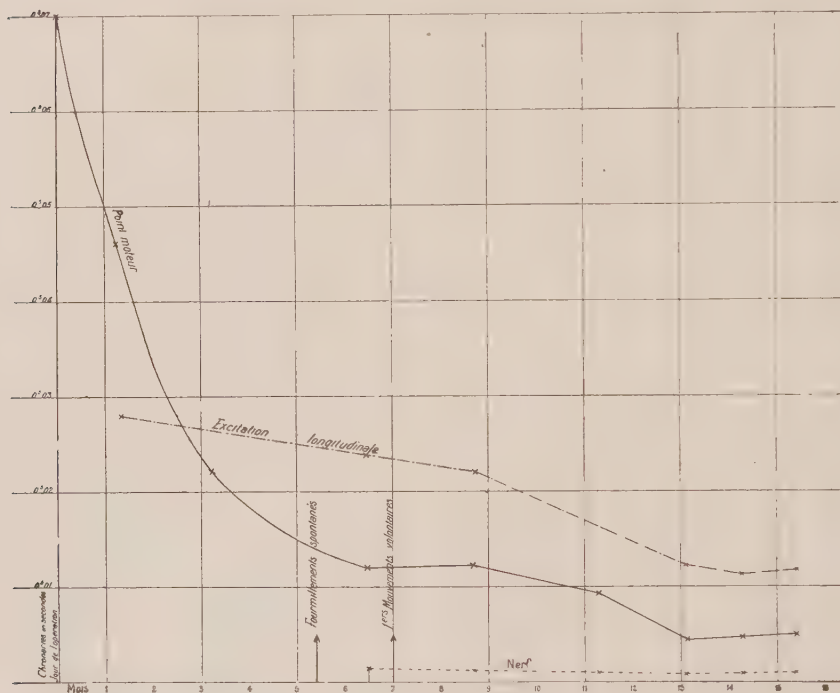


FIG. 32. — ÉVOLUTION DE LA CHRONAXIE
PENDANT LA RÉGÉNÉRATION D'UN NERF MÉDIAN SUTURÉ AU POIGNET.

Court fléchisseur du pouce. — Suture tardive. — Sujet III. Mlle D. Germaine.

Blessée le 25 juillet 1917. — 1^{er} examen le 19 octobre 1917. — Suture : 19 octobre 1917.

en différer beaucoup. Je n'ai pas mis en évidence de chronaxie aussi petite sur le muscle que sur le nerf. Il est probable, cependant, que le muscle devait renfermer des fibres vives puisqu'il y avait, à la fois, excitabilité par le nerf et mouvements volontaires. Ici, l'excitabilité par le nerf est apparue avant l'existence d'aucun mouvement volontaire ; mais le retour des mouvements volontaires a été très voisin du retour de l'excitabilité du nerf puisqu'il ne s'est écoulé qu'environ 3 semaines entre le premier examen au cours duquel on a constaté l'excitabilité nerveuse et l'apparition de la première ébauche d'opposition volontaire du pouce.

Deuxième série. — Sutures précoces.

Sujet I¹. — M. P., Germain, 59 ans.

Blessé le 29 avril 1918, par éclat d'obus à l'aisselle droite. — Paralyse complète du radial. — Opéré le 5 Juin 1918, soit 1 mois et 7 jours (57 jours) après la blessure, par le D^r Ch. Dujarier. — Section complète du radial dans l'aisselle. — Suture.

Résumé de l'évolution clinique.

Au premier examen, pratiqué le 13 mai, soit 14 jours après la blessure, je constate une paralysie radiale complète, y compris le triceps brachial. Il n'y a pas encore d'atrophie musculaire marquée.

30 Mai 1918. — L'atrophie musculaire s'accroît.

5 Juin 1918. — *Suture du nerf.*

51 Juillet 1918. — Pas de changement clinique.

10 Septembre 1918 (3 mois après l'opération). — L'atrophie musculaire n'a pas progressé. Apparition de fourmillements à la pression sur le trajet du nerf au-dessous de la suture, au bras et à l'avant-bras.

7 Novembre (5 mois après l'opération). — Apparition de légères contractions volontaires dans le vaste interne et la longue portion du triceps. Elles ont été vues dans le courant du mois d'octobre, environ 4 mois après l'opération.

21 Décembre 1918 (6 mois 1/2 après l'opération). — Les contractions du triceps sont très nettes et existent dans les trois portions. Il en apparaît dans le long supinateur.

La pression sur le trajet du nerf est maintenant un peu douloureuse.

Le blessé a été évacué et n'a plus été soumis à notre observation jusqu'au 19 février 1923.

19 Février 1923. — 4 ans et 8 mois 1/2 après l'opération. — Tous les mouvements volontaires sont récupérés, mais la force musculaire n'est pas encore aussi grande que normalement. Il peut étendre la main et les doigts dans le prolongement de l'avant-bras, mais il ne peut étendre complètement le poignet qu'en fléchissant les doigts : l'hyperextension des doigts n'est donc pas encore possible.

Il reste un léger degré d'hypoesthésie dans le domaine du Radial.

Le blessé s'est nettement rendu compte qu'il a fait des progrès continus jusqu'il y a 6 mois, soit pendant 4 ans et 2 mois environ après l'opération ; mais, depuis 6 mois, il ne lui semble pas qu'il ait fait aucun progrès.

Évolution de la chronaxie du long supinateur et de l'extenseur commun des doigts pendant la dégénérescence et la régénération (voir fig. 33).

Sauf à l'examen de 1923, l'extenseur n'a été mesuré que sur le point moteur supérieur. L'évolution de la chronaxie est exposée dans le tableau suivant :

DATES	NOMBRE DE JOURS ÉCoulés		LONG SUPINATEUR				EXTENSEUR COMMUN				PHÉNOMÈNES CLINIQUES					
	0 JOURS LA BLESSURE	DEPUIS L'OPÉRATION	POINT MOTEUR		EXCITATION LONGITUDINALE		NERF		POINT MOTEUR			EXCITATION LONGITUDINALE		NERF		
			τ	CONTRACTION	τ	CONTRACTION	τ	CONTRACTION	τ	CONTRACTION		τ	CONTRACTION	τ	CONTRACTION	
13 mai 1918	14		8 σ, 8	Assez vive.	10 σ	Assez vive.		Inexcitable.	8 σ	Vive.	8 σ	Vive.		Inexcitable.	Paralysie complète.	
30 mai 1918	31		9 σ, 2	Assez vive.	13 σ, 4	Lenteur de la décontraction		Inexcitable.	10 σ	Moins vive.	14 σ	Lenteur.		Inexcitable.	Paralysie complète atrophie très marquée.	
5 juin 1918	37														Suture.	
31 juill. 1918	93	56	18 σ	Fort galvanotomus à début brusque.	19 σ	Galvanotomus à début moins brusque.		Inexcitable.	11 σ	Fort galvanotomus à début assez brusque.	12 σ	Galvanotomus à début moins brusque.		Inexcitable.	Aucun changement.	
10 sept. 1918	154	97	13 σ	Lenteur galvanotomus diminué.	6 σ, 4	Plus vive qu'au point moteur.		Vive.	9 σ, 2	Lenteur galvanotomus diminué.	6 σ, 8	Plus vive qu'au point moteur.		Inexcitable.	Fournillement à la pression.	
7 nov. 1918	192	155	15 σ	Lenteur galvanotomus léger.	2 σ	Assez vive.		Vive.	10 σ	Lenteur sans galvanotomus.		Non mesurée.		Excitable.	Le mouvement volontaire depuis le milieu d'octobre.	
23 déc. 1918	201	283	10 σ, 8	Lenteur légère galvanotomus léger.	6 σ	Verniculaire Lenteur.		Vive.	6 σ, 8	Assez vive léger galvanotomus.		Non mesurée.		Excitable.	Amélioration très grande.	
Cette évolution, jusqu'au 23 décembre 1918 (238 jours) est représentée sur le graphique de la figure 33.																
18 fév. 1923	4 ans 9 mois 10 jours	4 ans 8 mois 15 jours	0 σ, 16	Vive.				Impossible à cause des fortes contractions des fléchisseurs.						Point moteur supérieur 6 σ, 8 Point moteur inférieur 10 σ, 48	Impossible comme pour le long supinateur.	Légère diminution d'amplitude de l'extension et légère hypopœsthésie.

Cette évolution, jusqu'au 23 décembre 1918 (238 jours) est représentée sur le graphique de la figure 33.

18 fév. 1922	4 ans 9 mois 10 jours	0 σ, 16	Vive.		Impossible à cause des fortes contractions des fléchisseurs.		Point moteur supérieur.	6 σ, 8	Décontraction ralentie	Impossible comme pour le long supinateur.	Légère diminution d'amplitude de l'extension et légère hyposthésie.
--------------	-----------------------------	---------	-------	--	--	--	-------------------------	--------	------------------------	---	---

Cette observation, comparée aux précédentes, met en évidence les faits suivants :

1° Dans la suture précoce, l'évolution de la dégénérescence continue après l'opération. Il a fallu trois mois à la chronaxie pour atteindre sa valeur maxima.

2° Pendant les premiers mois et surtout pendant les premières semaines, la contraction est beaucoup plus voisine de la normale que

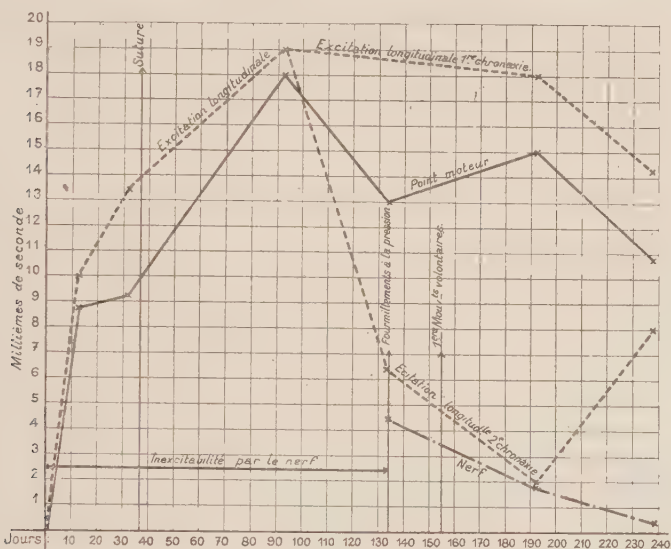


FIG. 33. — ÉVOLUTION DE LA CHRONAXIE APRÈS SUTURE DU NERF RADIAL.
Long supinateur.

Suture précoce. — Sujet I. M. P.

Blessé le 29 avril 1918. — 4^{er} examen le 13 mai 1918. — Suture : 5 juin 1918.

la chronaxie. L'évolution de la chronaxie est donc plus rapide que celle de la contraction.

3° La chronaxie, après la suture précoce, n'augmente pas autant chez les sujets qui n'ont été suturés que tardivement. Elle est restée en dessous de 20 σ , tandis que chez les sujets suturés tardivement la chronaxie a atteint 50 σ à 70 σ dans les trois premiers mois.

4° Pendant la régénération, on trouve deux chronaxies dans le long supinateur, par excitation longitudinale, comme je l'ai exposé.

5° Il y a encore eu ici à peu près coïncidence entre le retour de l'excitabilité du nerf et des mouvements volontaires. L'excitabilité du nerf a été constatée trois semaines environ avant l'apparition de la première ébauche de mouvement volontaire.

6° Au bout de 4 ans et 8 mois 1/2 après la suture, la chronaxie n'est normale que sur le long supinateur et les fibres vives des extenseurs

(point moteur inférieur); les fibres des extenseurs innervées par le point moteur supérieur conservent encore un peu de lenteur de la contraction et une chronaxie d'environ 10 fois la normale.

L'avenir seul dira si le retour peut être complet pour tous les muscles ou s'il reste toujours quelques chronaxies anormales après les sutures suivies de succès.

Sujet II¹. — M. C...., Léon, 28 ans.

Blessé le 29 juillet 1917 par coup de couteau au bras droit. — Paralyse radiale complète.

Opéré par le Dr Ch. Dujarier le 28 septembre 1917, soit deux mois après la blessure. — Section complète du nerf à son passage à la face externe du bras. — Suture.

Résumé de l'histoire clinique.

Cette observation, quoique moins complète, est superposable à la précédente et la confirme.

Les fourmillements sont apparus trois mois après l'opération. Les premiers mouvements volontaires se sont montrés 8 mois après la suture.

Le 16 juillet 1918, soit 9 mois 1/2 après la suture, on constate un phénomène semblable à celui que nous avons vu chez le sujet I de la 1^{re} série, M. L. Il y a une contraction synergique du long supinateur et des radiaux; mais, l'évolution étant plus avancée que chez le sujet I de la 1^{re} série, il y a aussi une contraction du long supinateur synergique avec celle du biceps; la contraction synergique avec les radiaux est cependant plus forte que la contraction synergique avec le biceps.

2^o Évolution de la chronaxie.

La chronaxie a évolué d'une manière comparable, en tous points, à son évolution chez le blessé précédent.

On retrouve encore la prolongation de la dégénérescence après la suture.

On voit le désaccord au début entre la chronaxie et la forme de la contraction.

Enfin, au moment où l'excitabilité du nerf a reparu la chronaxie était plus petite par excitation longitudinale qu'au point moteur; mais, ici, je n'ai pas mis en évidence les deux chronaxies par excitation longitudinale.

Tout ce que j'ai dit du premier malade est confirmé par l'étude de celui-ci.

Le blessé a été examiné seulement deux fois après la suture. Cepen-

1. Obs. XII de la *thèse* de R. FRANÇOIS, p. 261.

dant, les faits que j'avance apparaissent nettement dans la mesure de la chronaxie du long supinateur :

DATES	NOMBRE DE JOURS ÉCOULÉS DEPUIS LE JOUR DE LA BLESSURE	LONG SUPINATEUR						PHÉNOMÈNES CLINIQUES
		POINT MOTEUR		EXCITATION LONGITUDINALE		NERF		
		τ	CONTRACTION	τ	CONTRACTION	τ	CONTRACTION	
23 août 1917	15	20 σ , 8	Galvanotonus. à début brusque.	25 σ	Mêmes carac- tères qu'au point moteur.	Inexcitable.		Paralysie complète. Suture. Paralysie pres- que complète. 1 ^{ers} fourmillements à la pression. 4 ^{es} mouvement, apparu 6 semai- nes environ avant cet examen.
28 sept. 1917	61							
17 dec. 1917	141	28 σ	Lenteur et galvanotonus faible.	30 σ	Lenteur et galvanotonus faible.	Inexcitable.		
16 juil. 1918	352	8 σ	Galvanotonus à début brusque.	6 σ	Galvanotonus	1 σ , 4	Vive.	

Le blessé n'a pas été revu depuis.

La date d'apparition des mouvements volontaires peut encore être considérée ici comme sensiblement la même que celle du retour de l'excitabilité du nerf, car les mouvements n'existaient pas le 17 décembre et ils se sont montrés seulement environ six semaines avant l'examen du 16 juillet dans lequel le nerf a été trouvé excitable pour la 4^{re} fois.

Sujet III¹. — M. D., Jean-Baptiste.

Blessé le 5 juillet 1916 par éclat d'obus à la face externe du bras droit. Section complète du radial, suturé par le D^r Ch. Dujarier le 1^{er} septembre 1916, soit 2 mois après la blessure.

Les fourmillements à la pression sont apparus le 1^{er} février 1917, 5 mois après l'opération.

Les mouvements volontaires se sont ébauchés le 21 mars, soit 6 mois et 3 semaines après l'opération.

Le blessé a été revu ensuite 20 mois après l'opération, le 25 avril 1918 : La réparation clinique est très complète à ce moment, mais les chronaxies ne sont pas encore normales.

L'évolution de la chronaxie du long supinateur et de l'extenseur commun est exposée dans le tableau suivant :

1. Obs. XIV de la thèse de R. FRANÇOIS, p. 270.

DATES	NOMBRE DE JOURS ÉCULÉS	LONG SUPINATEUR				EXTENSEUR COMMUN				PHÉNOMÈNES CLINIQUES				
		POINT MOTEUR		EXCITATION LONGITUDINALE		NERF		POINT MOTEUR			EXCITATION LONGITUDINALE		NERF	
		DEPUIS LA BLESSURE	DEPUIS L'Ô ÉRA- TION	CONTRACTION	τ	CONTRACTION	τ	CONTRACTION	τ		CONTRACTION	τ	CONTRACTION	τ
18 août 1916	46			Lenteur et galva- notonus.	49 σ	Très lente fort galva- notonus.	28 σ	Lenteur galvano- tonus.	26 σ	Très lente 26 σ , 4 fort galva- notonus.		Inexcitable	Inexcitable	
1 ^{er} sept. 1916	60													Suture
1 ^{er} févr. 1917	213			Lente et léger gal- vanotonus)	22 σ , 8	Assez vive.	0 σ , 8	Lenteur galvano- tonus.	21 σ	Moins lente 44 σ , 6 qu'au point moteur.		Inexcitable	Inexcitable	
23 mai 1917	324			Lente.	13 σ	Assez vive.	4 σ , 6	Lente.	11 σ	Assez vive.	1 σ , 4	Inexcitable	Inexcitable	1 ^{er} mouve- ment le 24 mars.
25 avril 1918	661			Vive.	0 σ , 64	Non mesurée.	Non mesurée.	Vive.	6 σ , 4	Non mesurée.	Non mesurée.	Excitable.	Excitable.	

1^{er} mouve-
ment
le 21 mars.

Suture

Chez ce blessé encore, on constate les mêmes faits que chez les précédents. L'examen tardif confirme aussi la lenteur du retour complet de la chronaxie à la normale.

Au bout de 20 mois, chez ce malade, la chronaxie du long supinateur est plus grande qu'au bout de 4 ans et 8 mois chez le blessé 1 de la 2^e série, M. P. ($0\sigma,64$ chez le blessé D.; $0\sigma,16$ chez le blessé P.), tandis que, pour l'extenseur commun, la chronaxie est la même chez les deux blessés, de $6\sigma,4$ soit 10 fois la normale.

Le long supinateur, qui se répare le premier, termine aussi son évolution le premier. Elle est finie entre 2 ans $1/2$ et 4 ans $1/2$. Celle de l'extenseur commun dépasse 5 ans, et je n'ai aucune observation qui permette de dire si la chronaxie revient, ou non, à la normale sur ce muscle. Il est possible qu'elle y revienne, mais dans un laps de temps que je ne puis apprécier, n'ayant revu aucun opéré au delà de 4 ans et 8 mois après la suture.

Il y a ici un point particulier. Le 1^{er} février 1917, le nerf était encore inexcitable. Cependant, la chronaxie était déjà petite ($0\sigma,8$ par excitation longitudinale du long supinateur et $1\sigma,4$ dans les mêmes conditions pour l'extenseur commun). Or, les mouvements volontaires sont apparus le 21 mars, soit moins de 2 mois après cet examen et environ 2 mois avant l'examen suivant où le nerf était excitable.

Ces faits prouvent bien que les mouvements volontaires n'apparaissent qu'au moment où l'excitabilité par le nerf reparait. Il est certain qu'avec des fibres de $0\sigma,8$ dans le muscle, on n'était pas loin de l'excitabilité par le nerf. Il est probable que c'est la grandeur de la rhéobase du nerf qui m'a empêché de le démontrer.

L'examen suivant révèle, en effet, l'isochronisme du nerf et de l'excitation longitudinale.

Sujet IV¹. — Mlle M., Marthe, 21 ans.

Blessée par un coup de rasoir à 25 heures, le 28 mai 1921, à la face postéro-externe du bras gauche. L'intérêt de cette observation qui n'a pu être suivie longtemps, réside dans la précocité des examens qui m'ont permis de suivre de près l'évolution de la dégénérescence pendant le 1^{er} mois, à partir du 8^e jour après la section, et dans l'asepsie complète de la blessure, qui fait de cette observation une véritable expérience.

Le 29 mai à 19 heures, soit moins de 24 heures après la blessure, on procède à une intervention chirurgicale, dans le service du D^r Lardennois à l'Hospice d'Ivry. Le chirurgien trouve le nerf radial complètement sectionné à la face inféro-externe de la gouttière de torsion. — Suture du nerf. — Cicatrisation par première intention sans trace d'infection en 6 jours.

1. Observation inédite.

J'ai vu la blessée pour la première fois le 6 juin 1921, soit 8 jours après la suture et 9 jours après la section. Paralyse et anesthésie totales du domaine du radial. Cicatrisation parfaite de la plaie opératoire.

J'avais espéré suivre de près l'évolution de la chronaxie dans ce cas particulièrement favorable, étant donnée la précocité de la mise en observation.

Malheureusement, la blessée a cessé de venir aux rendez-vous. Je n'ai pu l'examiner que quatre fois, le 6 juin, le 18 juin, le 21 juin et le 2 juillet.

Cette observation montre nettement le retard de l'évolution de la contraction sur celle de la chronaxie. Elle nous permet aussi d'étudier l'évolution de la dégénérescence pendant le premier mois.

Le nerf est inexcitable dès ce premier examen, naturellement.

La nécessité d'évaluer les chronaxies pathologiques par leur rapport avec la normale dans les variations inférieures à une quarantaine de fois la normale ressort nettement de l'étude de cette malade comme l'égalité des chronaxies maxima des différents muscles est ressortie de l'étude des blessés au bout de plusieurs mois de dégénérescence.

Voici les chronaxies de quelques muscles au premier examen (6 juin) au bout de 8 jours de dégénérescence :

MUSCLES		CHRONAXIE	CONTRACTION	τ_n	$\frac{\tau}{\tau_n}$
Long supinateur gauche.	Point moteur	4 σ ,8	Vive.	0 σ ,12	40
	Excitation longitudinale	4 σ ,8	Vive.		
Extenseur commun du 4 ^e doigt.	Point moteur	14 σ ,	Léger galvanotonus.	0 σ ,58	24
	Excitation longitudinale	27 σ ,6	Léger ralentissement.		47
Extenseur propre de l'index.	Point moteur	12 σ ,8	Léger ralentissement et léger galvanotonus.		22
	Excitation longitudinale	18 σ ,4	Vive.		31
Long extenseur du pouce.	Point moteur	20 σ	Vive.		34

Aux examens suivants, je n'ai suivi l'évolution que de l'extenseur commun des doigts.

Voici l'évolution de la chronaxie de l'extenseur commun des doigts (faisceau du 4^e doigt) au point moteur et par excitation longitudinale avec les deux pôles :

NOMBRE DE JOURS	DATES	POINT MOTEUR			EXCITATION LONGITUDINALE		
		RHÉOBASE	CHRONAXIE	CONTRACTION	RHÉOBASE	CHRONAXIE	CONTRACTION
8	6 juin	6 mA,3	14 σ	Début brusque. Léger galvanotonus.	5 mA,7	27 σ ,6	Légèrement ralentie.
20	18 juin	3 mA,3	26 σ	Léger ralentissement.			
23	21 juin	NF 5 mA NF 2 mA,7	28 σ ,4 32 σ ,2	Fort galvanotonus.	NF 3 mA NF 4 mA,6	26 σ 31 σ ,2	Contraction ralentie. Galvanotonus Grande
34	2 juill.	NF 0 mA,45 NF 1 mA,1	21 σ ,6 36 σ ,4	Lenteur et galvanotonus. Lenteur plus remarquée.	NF 1 mA NF 0 mA,8	36 σ ,8 39 σ ,2	lenteur sans galvanotonus. Grande lenteur. Léger galvanotonus.

Cette évolution est représentée graphiquement dans la fig. 34 (p. 302).

Cette observation, qui est une véritable expérience, complètement aseptique, montre que la chronaxie atteint près de 40 σ en un mois. C'est dire que, lorsque nous avons vu nos blessés pour la première fois au delà de deux mois, la chronaxie que nous trouvions était toujours la chronaxie maxima au cours de la dégénérescence.

La chronaxie n'a été différente au point moteur et par excitation longitudinale que dans le premier examen. A ce moment, le muscle n'est pas encore très homogène. Mais aux deux examens suivants, il n'y a pas de différence marquée entre les chronaxies mesurées dans les différents modes d'excitation : nous voyons réalisée ici, mais pas d'emblée, l'homogénéité de la dégénérescence totale. Au dernier examen, la chronaxie du point moteur diminue, l'hétérogénéité reparaît : c'est vraisemblablement le premier signe du début de la régénération.

Enfin, au 1^{er} examen, les chronaxies des différents groupes musculaires sont très différentes en valeurs absolues, mais semblables comme rapports avec les valeurs normales.

Cette expérience accidentelle sur l'homme justifie donc entièrement toutes les descriptions que je viens de donner de l'évolution de la chronaxie pendant la dégénérescence.

Sujet V. — Mme G., Marie, 57 ans. — Greffe du cubital. — Cette observation sera publiée en détail ailleurs. Je n'en donnerai donc ici que ce qui concerne l'évolution de la chronaxie qui est particulièrement

intéressante à un double point de vue, en raison des circonstances de la suture ou plutôt de la greffe et en raison de l'étude que j'ai pu faire

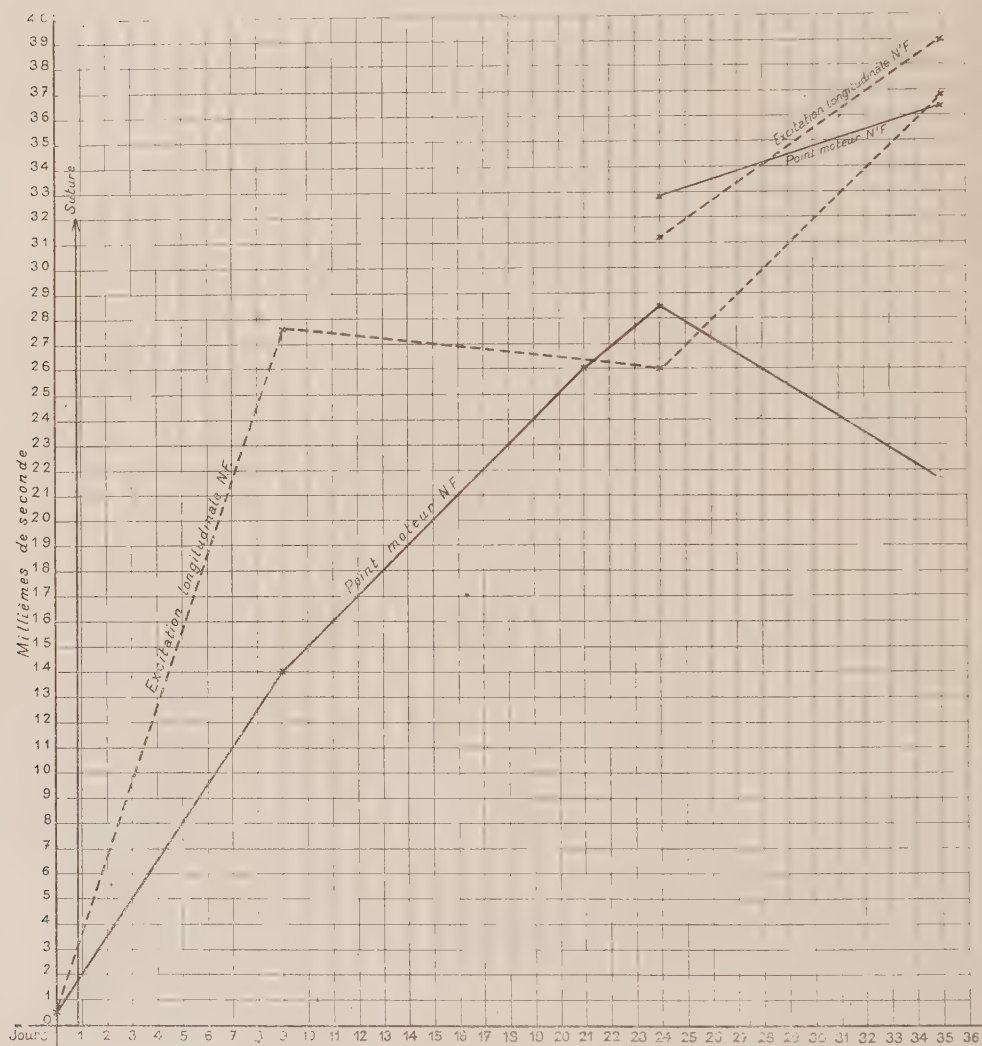


FIG. 34. — ÉVOLUTION DE LA CHRONAXIE PENDANT LE 1^{er} MOIS DE LA DÉGÉNÉRESCENCE APRÈS SUTURE DU RADIAL.

Début probable de régénération au dernier examen.

Extenseur commun des doigts.

Suture précoce. — Sujet IV. — Mlle M., Marthe.

Blessée le 21 mai 1921. — Suture le 29 mai. — 1^{er} examen le 6 juin.

Ce graphique montre nettement l'hétérogénéité des chronaxies au début, puis l'homogénéité aux 2^e et 5^e examens, et la réapparition de l'hétérogénéité (début probable de régénération) au 6^e examen.

de l'évolution de la chronaxie sensitive au cours de la régénération qui est en cours d'ailleurs encore actuellement.

Il s'agit ici d'une section chirurgicale, suivie de greffe immédiate. En raison d'une tumeur très douloureuse du nerf cubital gauche, le Dr Charrier, assistant du Pr Gosset, fit, le 12 septembre 1921, une résection de ce nerf à la face interne du bras. Il dut enlever une longueur de nerf de 10 cm. Cette portion de nerf fut remplacée immédiatement par un fragment de nerf sciatique de chien vivant prélevé pendant l'opération même de la malade.

J'ai commencé à suivre l'évolution de cette greffe le 30 septembre, soit 18 jours après l'opération. Elle fut suivie d'un plein succès et, actuellement, la malade a recouvré des mouvements, même dans les muscles de la main, depuis le mois d'octobre 1922. La sensibilité, dans le domaine du cubital, est aussi revenue et, à la place de l'anesthésie du début, il n'existe que de l'hypoesthésie.

J'ai suivi l'évolution de la chronaxie de l'adducteur du 5^e doigt et de la chronaxie sensitive. Cette évolution est exposée dans le tableau suivant :

DATES	NOMBRE DE JOURS ÉCULÉS DEPUIS LA GREFFE	ADDUCTEUR DU 5 ^e DOIGT		NERF CUBITAL AU POIGNET		PHÉNOMÈNES CLINIQUES
		POINT MOTEUR	EXCITATION LONGITUDINALE	CHRONAXIE MOTRICE	CHRONAXIE SENSITIVE	
30 sept. 1921	48	6 σ ,4	10 σ ,8	Inexcitable.	Inexcitable.	Paralysie et anesthésie complètes. Griffe cubitale.
29 nov. 1921	68	17 σ ,2	22 σ	Inexcitable	Inexcitable.	Paralysie et anesthésie complètes. Griffe cubitale.
16 févr. 1922	157	21 σ ,6	22 σ	Inexcitable.	2 σ ,04	Fourmillements à la pression, douleurs spontanées au niveau des 2 sutures de la greffe.
8 mai 1922	238	6 σ	20 σ ,8	0 σ ,72	4 σ ,44	Anesthésie remplacée par l'hypoesthésie. Sensibilité nettement améliorée.
22 juin 1922	283	• • • • •	• • • • •	• • • • •	• • • • •	Pas de changement très appréciable dans la paralysie.
août 1922		• • • • •	• • • • •	• • • • •	• • • • •	Sensibilité s'améliore. Fourmillements spontanés.
19 oct. 1922	402	1 σ ,72	13 σ ,2	0 σ ,56	0 σ ,72	Amélioration des douleurs spontanées au niveau de la greffe. Mouvements volontaires dans les muscles du cubital à la main. Amélioration de la greffe.

Pour simplifier, je n'ai pas reproduit l'évolution de la forme de la contraction qui a suivi exactement la même marche que, dans les observations précédentes.

La figure 55 reproduit l'évolution de la chronaxie de l'adducteur

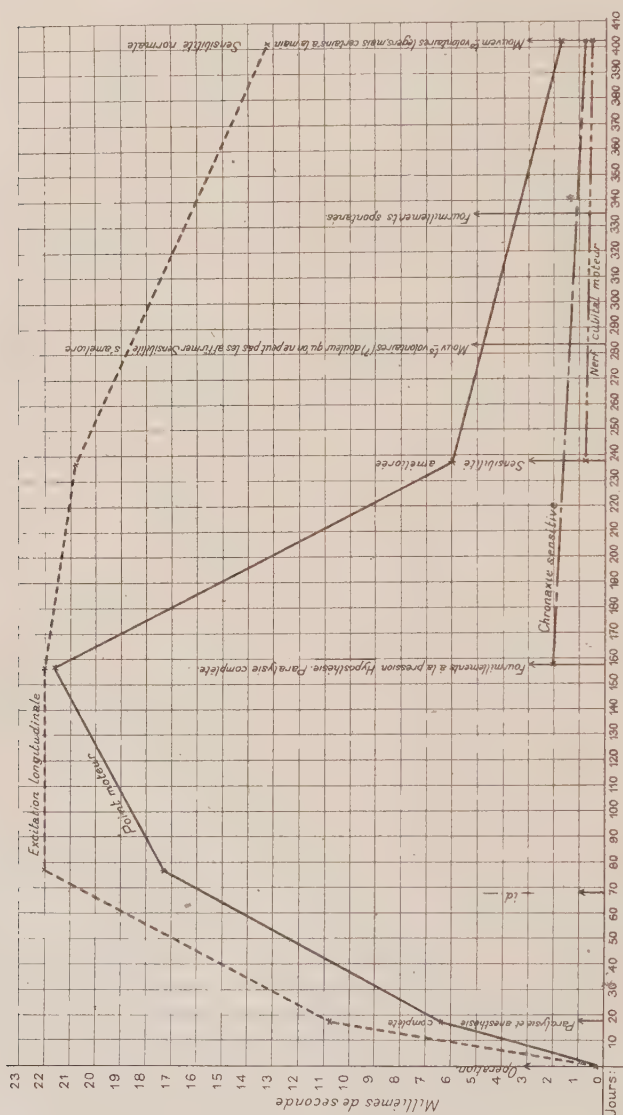


FIG. 55. — ÉVOLUTION DE LA CHRONAXIE PENDANT LA DÉGÉNÉRESCENCE ET PENDANT LA RÉGÉNÉRATION DU NERF CUBITAL, APRÈS GREFFE DE NERF DE CHIEN VIVANT.

Greffe le jour même de la section. Sujet V. Mue G., Marie.

Section chirurgicale et greffe le 12 septembre 1921. 1^{er} examen le 30 septembre 1921.

du 5^e doigt et de la chronaxie sensitive. Pour suivre la chronaxie, j'ai choisi l'adducteur du 5^e doigt parce qu'il était plus facile de ne pas commettre d'erreurs dans les mesures que sur les muscles de l'avant-bras où on peut facilement confondre l'excitation du fléchisseur pro-

fond avec celle d'un fléchisseur innervé par le médian ou celle du cubital antérieur avec l'excitation du cubital postérieur, innervé par le radial.

Nous retrouvons ici encore l'hétérogénéité du muscle au début de la dégénérescence, puis il devient homogène au moment où le processus dégénératif est à son acmé, pour devenir de nouveau hétérogène pendant la réparation.

La greffe précoce, cas particulier de la suture, a empêché, comme pour les nerfs radiaux que nous avons étudiés, la chronaxie d'atteindre des valeurs très grandes. Alors que dans les muscles innervés par le médian suturé au début du 4^e mois, (voir sujet III; sutures tardives) la chronaxie était de 70 σ , dans le cas actuel la chronaxie n'a pas dépassé 22 σ .

Le nerf cubital s'est montré excitable au point de vue sensitif avant de l'être au point de vue moteur. Il faut remarquer que la première chronaxie sensitive est plus grande que la première chronaxie motrice.

Par contre, l'évolution de la régénération du nerf moteur est plus rapide que celle du nerf sensitif, car, à partir du moment où l'on peut mesurer les chronaxies motrices et sensitives, la chronaxie motrice est plus petite que la chronaxie sensitive.

Ici, comme chez un certain nombre des autres blessés étudiés, je n'ai pas trouvé d'isochronisme parfait entre le nerf et le muscle, alors que l'excitabilité indirecte était revenue. L'explication que j'ai proposée pour les cas semblables s'applique ici.

Nous voyons aussi la chute brusque très grande de la chronaxie du point moteur, au moment où l'excitabilité indirecte reparait. Sur les radiaux, c'est souvent, comme nous l'avons vu, la chronaxie par excitation longitudinale qui diminue rapidement. Le fait important à retenir, comme je l'ai déjà dit, c'est qu'au moment du retour de l'excitabilité indirecte, l'une ou l'autre des deux chronaxies trouvées sur le muscle diminue brusquement. Il n'y a qu'à comparer tous les graphiques que je donne dans cette étude de la dégénérescence et de la régénération pour s'en convaincre.

Enfin, ici, les mouvements volontaires sont apparus après le retour de l'excitabilité par le nerf, mais ils ont été constatés avec netteté beaucoup plus longtemps après la greffe qu'après les sutures. Il y a peut-être là quelque chose de spécial à l'évolution des greffes.

3^e Résumé. — La comparaison de ces observations montre que tous les faits que j'ai exposés sont bien établis.

Les sutures précoces n'empêchent pas le processus de dégénérescence de continuer, mais elles en raccourcissent l'évolution : les signes de régénération apparaissent avant que les chronaxies aient atteint des valeurs aussi grandes que lorsque la suture est faite après le

3^e mois. Elle ne dépasse pas 30σ alors que dans l'évolution sans intervention elle dépasse 50σ et peut atteindre 70σ .

La régénération se fait sensiblement dans le même laps de temps pour les mêmes nerfs, quelle que soit la date de l'opération. Ces faits justifient ce que j'ai dit de l'évolution de la dégénérescence.

Au cours de la régénération, chez les sujets suturés assez tard pour que les muscles aient le temps de devenir inexcitables, on voit reparaître d'abord les contractions lentes avec grandes chronaxies. Dans les observations suivies d'une manière particulièrement précoce, à partir des 8 à 15 premiers jours après la section du nerf, on voit très nettement que la chronaxie augmente plus vite que la contraction ne se ralentit. Les deux processus évoluent donc indépendamment l'un de l'autre, dans une certaine mesure. Il y a bien un rapport entre la durée de la contraction et la chronaxie, mais c'est peut-être plutôt un rapport avec une cause commune qu'un rapport de cause à effet entre les deux.

Nous devons remarquer aussi que les mouvements volontaires sont apparus à peu près au moment où l'excitabilité par le nerf est revenue et, en général, un peu après (voir les courbes et les observations).

Duchenne de Boulogne avait formellement dit le contraire et il est encore admis par la plupart des neurologistes que les mouvements volontaires reviennent avant l'excitabilité du nerf.

L'explication est très simple, à mon avis.

Duchenne de Boulogne n'a employé qu'une seule onde, l'onde faradique. Or, la durée de cette onde est trop courte pour la chronaxie du nerf au moment où l'excitabilité indirecte reparait. Il n'est donc pas étonnant qu'en ne recherchant l'excitabilité qu'avec une onde aussi brève on ne trouve pas le nerf excitable à une époque où le courant continu met en évidence, au contraire, l'excitabilité du nerf.

Dans mes observations, les mouvements volontaires sont apparus tantôt avant, tantôt après l'excitabilité du nerf, mais toujours à une époque très voisine, sauf dans le seul cas de greffe que j'ai pu suivre, dans lequel l'excitabilité par le nerf est revenue longtemps avant les mouvements volontaires certains.

Dans le cas où l'excitabilité du nerf est apparue la première, il n'y a aucun doute sur la succession des phénomènes : c'est le même jour que l'on a constaté la coexistence de l'excitabilité du nerf et l'absence de tout mouvement.

Mais, lorsque le sujet s'est aperçu qu'il pouvait faire des mouvements entre deux examens, on ne peut pas dire que les mouvements sont apparus avant l'excitabilité par le nerf, car l'excitabilité n'a pas été recherchée tous les jours, tandis que le sujet s'examine tous les jours pour voir ce qu'il peut faire.

Or, toutes les fois que des mouvements sont apparus dans l'intervalle de deux examens électriques, le premier examen, qui suit

l'apparition des mouvements, révèle l'excitabilité du nerf. Il ne s'est jamais écoulé que 15 jours à 6 semaines entre les constatations des deux phénomènes : on peut donc conclure que, contrairement à l'assertion de Duchenne de Boulogne, l'excitabilité du nerf reparait un peu avant les mouvements volontaires, mais que les deux phénomènes se suivent de si près qu'on peut les considérer comme contemporains.

Remarquons aussi que je n'ai pas observé, après les sutures, le phénomène de la contraction lente par le nerf, que j'ai étudié chez un blessé, sur un nerf qui avait été lésé mais non sectionné ni suturé.

Cela confirme qu'il faut, pour réaliser ce phénomène, des conditions très étroites qui se rencontrent très rarement.

Le fait de la chronaxie plus petite par excitation longitudinale qu'au point moteur s'est rencontré dans le domaine du radial, mais non dans les autres domaines; il a fait défaut aussi dans le cas où la suture du radial a été faite à une époque où les muscles étaient inexcitables avec 15 mA, au point moteur et par excitation longitudinale.

Il y a vraisemblablement à cela des causes de structure anatomique, créant des conditions particulières de distribution du courant. Le fait important est qu'au cours de la régénération le muscle est inhomogène, composé de fibres de valeur différente et que, lorsque l'excitabilité par le nerf existe, on trouve toujours une position de l'électrode avec laquelle on met en évidence des fibres isochrones ou très voisines de l'isochronisme avec le nerf.

Enfin, même chez les deux sujets revus tardivement, la chronaxie n'est pas encore normale sur tous les muscles. Je ne parle pas des autres cas que je n'ai pu revoir à échéance aussi longue. J'ai discuté la question du retour à la normale à propos de ces deux observations. Je n'y reviendrai pas ici.

Tels sont les faits précis que l'étude de l'évolution de la chronaxie, au cours de la dégénérescence et de la régénération des nerfs et muscles, met en évidence.

E. — Syndromes d'irritation.

A côté des lésions neuro-musculaires que je viens d'étudier, il faut placer ce qu'on a désigné sous le nom de « syndromes d'irritation ». Il s'agit de lésions légères des nerfs qui produisent des phénomènes douloureux intenses avec de gros troubles vaso-moteurs et trophiques. Dans ces cas, tantôt il y a association du processus irritatif avec le processus dégénératif, tantôt le processus irritatif est pur. On y observe souvent les contractions lentes par troubles vaso-moteurs.

Le plus souvent, la chronaxie est diminuée dans les processus irritatifs purs; dans les cas plus graves, elle augmente. Tout se passe

comme si les syndromes d'irritation étaient des syndromes de dégénérescence arrêtés au premier stade de leur évolution.

F. — Anomalies fonctionnelles en rapport avec les anomalies de la chronaxie.

Chez deux des sujets dont je viens de faire l'étude, j'ai observé, au moment où les premiers mouvements volontaires sont apparus, des faits qui ont, à mon avis, une certaine portée au point de vue de la physiologie neuro-musculaire. Il s'agit du nerf radial dans les deux cas.

Chez le blessé L. (sujet n° I des sutures tardives) dont le nerf radial avait été suturé le 2 novembre 1917, les premiers mouvements volontaires sont apparus dans le courant du mois de juillet suivant, soit environ 8 mois après la suture.

Or, le 17 juillet, alors que les mouvements devenaient assez importants, j'ai fait l'observation suivante : lorsque le sujet fait une flexion de l'avant-bras, le biceps se contracte seul; il n'y a aucune contraction du long supinateur.

Au contraire, quand on lui demande de relever le poignet, on voit une contraction du long supinateur accompagner la contraction des radiaux.

Le long supinateur est donc capable de mouvements volontaires, mais sa synergie fonctionnelle est changée. Au lieu de contribuer à la flexion de l'avant-bras en se contractant synergiquement avec le biceps, il se contracte synergiquement avec les radiaux.

Chez le blessé C. (sujet n° II des sutures précoces) dont le radial avait été suturé le 28 septembre 1917 et dont la réparation était, le 17 juillet 1918, plus avancée que chez le précédent, on constate un phénomène analogue.

Lorsque le blessé fléchit son avant-bras, on constate une contraction du long supinateur, en même temps que du biceps, mais très faible.

Pendant le relèvement du poignet, au contraire, le long supinateur se contracte fortement, en même temps que les radiaux.

C'est donc le même phénomène que chez le sujet précédent, mais en voie d'atténuation. Chez lui, le long supinateur commence à reprendre sa fonction normale de synergie avec le biceps, mais il conserve encore sa fonction anormale de contraction synergique avec les radiaux.

Comment expliquer pareilles anomalies? Elles ne doivent pas être exceptionnelles, puisque je les ai trouvées le même jour sur deux sujets. Seulement elles sont passagères et, de ce fait, elles échappent facilement à l'observation.

L'étude de la chronaxie donne la réponse à la question posée.

Voici, en effet, les résultats des mesures que j'ai faites chez ces deux blessés, le jour même (16 juillet 1918) où j'ai constaté ces faits de physiologie musculaire pathologique.

J'ai mesuré comparativement la chronaxie sur les muscles en cause et sur leurs nerfs.

SUJET	SIÈGE DE L'EXCITATION	LONG SUPINATEUR	1 ^{er} RADIAL EXTERNE	BICEPS
M. L. sujet I sutures tardiv.	Point moteur	14 σ	6 $\sigma,4$	0 $\sigma,07$
	Excitat. longitudinale .	0 $\sigma,9$	0 $\sigma,4$	
	Nerf.	0 $\sigma,3$		
M. C. sujet II, su- tures précoces	Point moteur	8 σ	8 $\sigma,3$	0 $\sigma,16$
	Excitation longitudin..	6 σ	N'a pu être excité avec certitude.	
	Nerf.	1 $\sigma,4$		

Remarquons d'abord le fait sur lequel j'ai déjà attiré l'attention : c'est par excitation longitudinale que l'on trouve la plus petite chronaxie, en accord suffisant avec celle du nerf. C'est surtout chez le sujet de l'observation I des sutures tardives, dont l'évolution est le moins avancée que le fait est net. Chez le deuxième sujet, on constate moins d'écart entre le point moteur et l'excitation longitudinale, mais les chronaxies du nerf et par excitation longitudinale sont plus grandes que chez le premier sujet.

Au point de vue qui nous occupe, ce qu'il faut remarquer c'est que, chez les deux sujets, on trouve deux chronaxies égales ou très voisines, au moins pour un mode d'excitation, sur le long supinateur et les radiaux. Ainsi, chez le premier sujet, le 1^{er} radial a une chronaxie de 0 $\sigma,4$ et le long supinateur une chronaxie de 0 $\sigma,9$ par excitation longitudinale et de 0 $\sigma,3$ par le nerf; il y a donc isochronisme, ou hétérochronisme dans le rapport d'environ 1 à 2, entre ces trois chronaxies. Au contraire, l'écart entre la chronaxie du biceps et les chronaxies du long supinateur est très grand.

En comparant la plus petite chronaxie du long supinateur trouvée sur le nerf, avec la chronaxie du biceps, on voit que le rapport entre les deux est de 4, 3; le rapport entre les chronaxies des deux points moteurs est de 200.

Chez le deuxième sujet, on retrouve deux chronaxies égales sur les radiaux et le long supinateur, mais, cette fois, c'est sur le point moteur. On trouve, en effet, 8 σ sur le long supinateur et 8 $\sigma,8$ sur le premier radial externe.

En comparant le biceps et le long supinateur, on voit que le rapport est très grand. Le rapport de la chronaxie du nerf radial à celle du biceps est plus grand que chez le premier sujet : le rapport de la

chronaxie du point moteur du long supinateur à celle du biceps est beaucoup plus petit que chez le premier sujet. Au lieu de 200, en effet chez L., ce rapport n'est que 50 chez C.

On constate donc encore ici un hétérochronisme très grand entre le biceps et le long supinateur et un isochronisme parfait entre le long supinateur et les radiaux. C'est exactement l'inverse de ce que nous avons vu à l'état normal où le biceps et le long supinateur sont isochrones, alors que le long supinateur et les radiaux sont hétérochrones. L'isochronisme pathologique du long supinateur et des radiaux permet de comprendre la forte contraction synergique du long supinateur pendant l'action des radiaux chez les deux sujets.

L'hétérochronisme du biceps et du long supinateur explique la perte de la synergie normale de ces deux muscles. Mais, comme l'hétérochronisme est moindre chez le 2^e sujet que chez le 1^{er}, il apparaît une très faible contraction du long supinateur pendant la contraction du biceps chez le 2^e sujet.

Il est probable que le long supinateur de ce 2^e sujet renferme quelques fibres d'une chronaxie plus petite que celles que j'ai mesurées. Quand il y a, en effet, dans un muscle beaucoup de fibres d'une chronaxie donnée et très peu de fibres d'une autre chronaxie, ces dernières peuvent échapper à la mesure, leur contraction liminaire étant trop petite à cause de leur trop petit nombre.

Nous avons ici une véritable contre-épreuve naturelle de ce que j'ai avancé.

Alors que l'état normal nous montre l'action synergique des muscles de même chronaxie, la pathologie nous fait voir la perte de la synergie causée par la perte de l'isochronisme et fait apparaître des synergies anormales en même temps que des isochronismes anormaux.

Mes conclusions tirées de l'étude de la chronaxie normale reçoivent donc une forte confirmation de l'étude de la dégénérescence et de la régénération. La pathologie fait la contre-épreuve de la physiologie.

Toute l'étude des variations de la chronaxie dans les lésions des neurones moteurs périphériques et des muscles permet donc de répéter ce que nous avons dit à propos de la chronaxie normale :

1^o La chronaxie est en rapport avec la durée de la contraction.

2^o Les synergies musculaires sont en rapport avec l'égalité des chronaxies.

Mais, la pathologie, amenant la constitution d'isochronismes anormaux, crée des synergies fonctionnelles anormales et gênantes qui disparaissent d'ailleurs au cours de l'évolution.

Tous ces faits sont en parfait accord avec tout ce que l'on sait actuellement de la chronaxie en physiologie expérimentale et comparée.

G. — Résumé.

Si nous jetons un coup d'œil d'ensemble sur tous les faits que nous révèle l'étude des lésions des neurones moteurs et des muscles, nous pouvons dégager quelques grandes lignes.

1° La chronaxie varie parallèlement avec la durée de la contraction, mais il y a une restriction à faire pour la première période du processus de la dégénérescence dans lequel la chronaxie varie plus vite que la durée de la contraction.

2° La loi de l'isochronisme qui ressort de l'étude du nerf moteur et du muscle à l'état normal, ainsi que des synergies musculaires, est confirmée en pathologie.

3° La chronaxie, dans la période initiale de la dégénérescence wallérienne, est la même que dans les syndromes d'irritation et dans toutes les variations par répercussion que nous allons maintenant étudier.

4° La chronaxie paraît bien diminuer au début du processus de la dégénérescence.

Je n'ai pu établir ce fait que par des observations médicales, les lésions chirurgicales n'étant pas soumises assez tôt à l'examen par suite de la nécessité de soigner d'abord leurs plaies : je n'ai pas pu examiner de nerfs sectionnés avant le 8^e jour et en général plus tard.

Ce point, très intéressant par suite de son analogie avec ce qui se passe dans les syndromes d'irritation, ne pourra être définitivement établi que par l'expérimentation animale.

5° Quand un nerf est sectionné, la chronaxie du muscle atteint, en moins d'un mois, une valeur de plusieurs 1/100^e de seconde. Elle atteint son maximum entre le 2^e et le 4^e mois.

Le muscle se montre au début pourvu de deux chronaxies. Rapidement, on n'en trouve plus qu'une : à ce moment toutes les fibres sont au même degré de dégénérescence.

Pendant la régénération, l'hétérogénéité reparait. Le syndrome de la régénération se rapproche donc de celui de la dégénérescence partielle.

6° La dégénérescence partielle est la dégénérescence localisée à une partie du muscle. L'excitabilité des fibres de petite chronaxie se mesure par la chronaxie du nerf. L'excitabilité des fibres de grande chronaxie se mesure par les grandes chronaxies trouvées sur le muscle.

La dégénérescence totale est la dégénérescence étendue à toutes les fibres composant le muscle : il n'y a plus qu'une chronaxie ou du moins des chronaxies très voisines les unes des autres.

La chronaxie éclaire donc les faits longtemps discutés de la dégénérescence totale et partielle.

7° Les muscles atteints de maladies primitives comme les myopathies et la maladie de Thomsen se comportent exactement comme les muscles en état de dégénérescence partielle.

8° L'étude de la chronaxie sensitive permet de constater la régénération d'un nerf d'une manière plus précoce que l'étude du nerf moteur, mais non que l'étude du muscle. L'étude de la chronaxie du muscle, établissant des degrés dans la dégénérescence totale, permet de reconnaître la régénération bien avant que le nerf ne soit excitable et avant tout autre signe.

9° La régénération complète d'un nerf sectionné et suturé et de tous les muscles qu'il innerve demande un laps de temps qui excède 5 ans, au point de vue de la restauration complète de l'excitabilité : aucune observation n'a encore été assez longue pour établir la limite extrême de ce laps de temps. L'usage fonctionnel est suffisant dans un laps de temps beaucoup plus court, variant entre 9 ou 10 mois et deux ans, suivant le nerf et les conditions dans lesquelles s'est trouvé le sujet. Je signale que la régénération paraît améliorée par l'ionisation d'iode, qui empêche les adhérences de se former. Tous les blessés dont j'ai rapporté l'histoire ont été soumis à ce traitement, qui a amélioré les statistiques de régénération après suture du Centre de Neurologie de la X^e région.

10° Dans certains cas bien déterminés, mais exceptionnels, on peut trouver des chronaxies assez grandes sur le nerf : dans ce cas la contraction par excitation du nerf est lente.

11° Ni la chronaxie, ni la forme de la contraction ne permettent d'établir de différence entre les altérations purement fonctionnelles, passagères, et les altérations lésionnelles. Mais les circonstances dans lesquelles on observe les variations de la chronaxie permettent de distinguer ces deux ordres d'altérations. En particulier l'action du réchauffement est un bon moyen de distinguer les troubles lésionnels des troubles fonctionnels.

Tout ce que nous apprend l'étude de ces faits pathologiques confirme et étend les conclusions tirées de l'étude de l'état normal.

II

VARIATIONS DE LA CHRONAXIE SANS LÉSION DES MUSCLES NI DES NEURONES MOTEURS PÉRIPHÉRIQUES

Dans cette classe d'altérations de la chronaxie, les variations sont beaucoup plus légères, sauf quelques cas exceptionnels. Leur intérêt réside surtout dans les phénomènes physiologiques qu'elles mettent en évidence. En effet, elles font apparaître des liens entre les différentes parties du système nerveux, analogues à ceux que nous a

révélés l'étude comparée des chronaxies motrices et sensitives. Je désigne sous le nom général de « répercussions » ces variations de la chronaxie des nerfs moteurs et des muscles qui sont sous l'influence des lésions de neurones autres que le neurone moteur périphérique.

A — Répercussion de la lésion d'un nerf
sur la chronaxie des nerfs et muscles de même chronaxie
du côté opposé et du même côté.

Les premiers faits de cet ordre que j'ai découverts sont les répercussions des blessures d'un nerf d'un côté sur la chronaxie des points moteurs du côté opposé¹. Ces variations sont légères et se font tantôt en plus et tantôt en moins. La loi générale, c'est que la réaction se montre toujours d'abord dans les muscles innervés par des nerfs de même chronaxie que le nerf blessé. Cette réaction ne fait que rarement défaut. Elle peut s'accompagner de variations de la chronaxie des antagonistes des muscles innervés par le nerf blessé, mais le fait n'est pas constant.

Les répercussions apparaissent pendant que la lésion du nerf, malade ou blessé, est en activité; elles disparaissent quand la lésion est définitivement organisée. Ainsi, chez de nombreux blessés de guerre qui réalisaient de véritables expériences, les répercussions, dans le cas de section d'un nerf, existaient tant que le névrome se formait. Quand, au bout de plusieurs mois, le névrome était définitivement organisé, la répercussion disparaissait et la chronaxie revenait à sa valeur normale dans les muscles et nerfs qui étaient le siège de la répercussion; mais, si le chirurgien intervenait, réséquait le névrome et suturait le nerf, la répercussion reparait et durait autant que le processus de la régénération du nerf et des muscles.

Dans les répercussions, la chronaxie varie inégalement sur le nerf, au point moteur du muscle et par excitation longitudinale (excitation directe des fibres musculaires en plaçant l'électrode active à l'union du muscle et du tendon). Sur le nerf, elle reste normale ou augmente légèrement (1 fois $1/2$ à 3 fois la normale). Au point moteur, tantôt elle diminue ($1/2$ ou $1/3$ de la normale), tantôt elle augmente un peu plus que sur le nerf (2 à 10 fois la normale). Par excitation longitudinale, on trouve la chronaxie plus augmentée qu'au point moteur et sur le nerf. La répercussion produit donc des modifications de la chronaxie moins importantes que la dégénérescence, mais analogues à celles de la dégénérescence partielle. Il n'y a pas de différence entre une répercussion et un début de dégénérescence. Ainsi que je l'ai dit déjà il me paraît, d'après quelques faits, que la dégénérescence wallérienne produit au début une diminution de la

1. G. BOURGUIGNON. *Académie des Sciences*, 29 août 1921.

chronaxie du point moteur, mais cette phase est de courte durée et échappe le plus souvent à l'observation.

Voici deux exemples de ces faits :

Première observation. — Voici un exemple qui démontre que la répercussion se localise aux nerfs de même chronaxie que le nerf blessé et qu'elle demande un certain temps pour apparaître.

Il s'agit de la malade IV de la 2^e série (Mlle M., Marthe, voir page 299) qui a reçu un coup de rasoir ayant sectionné complètement le nerf radial gauche dans son passage à la face externe de l'humérus. Je rappelle que le nerf a été suturé le 29 mai; moins de 24 heures après la blessure.

Au premier examen, le 6 juin 1921, la chronaxie dans le domaine du radial du côté sain était normale. Au 2^e examen, la chronaxie du côté opposé avait varié et était le double de la normale. Cependant, dans les antagonistes du côté de la blessure, on ne constatait aucune répercussion. Le tableau suivant fait bien ressortir ces faits.

MUSCLES	COTÉ BLESSÉ CHRONAXIE	COTÉ SAIN CHRONAXIE	CHRONAXIE NORMALE
Premier examen, 6 juin 1921: il n'y a pas de répercussion (8 jours après la section).			
Extenseur commun des doigts :			
Point moteur.	14 σ	0 σ ,64	
Excitation longitudinale	24 σ		
Nerf.	Inexcitable		
Deuxième examen, 18 juin 1921: (20 j. après la section) la répercussion apparaît.			0 σ ,44 à 0 σ ,72
Extenseur commun des doigts :			
Point moteur.	26 σ	1 σ ,24	
Excitation longitudinale	26 σ		
Nerf	Inexcitable		
Fléchisseur superficiel :			0 σ ,24 à 0 σ ,36
Point moteur.	0 σ ,32		

Deuxième observation. — Voici un autre exemple particulièrement démonstratif. Il s'agit du blessé A, sur lequel j'ai démontré l'existence de contractions lentes avec chronaxie augmentée sur le nerf cubital.

Ce blessé avait eu le tronc radio-circonflexe *gauche* sectionné par une balle le 28 mai 1918. Le 26 octobre suivant, soit cinq mois après la blessure, le Pr Gossel avait suturé le tronc radio-circonflexe. 21 mois plus tard, en février 1920, j'ai commencé à m'occuper de ce blessé. En octobre 1920, il y avait des signes de régénération dans le domaine du radial, alors qu'il n'y en avait aucun dans le deltoïde,

innervé par le circonflexe. Je constate alors une répercussion dans le long supinateur du côté opposé, alors que je trouve la chronaxie normale dans le deltoïde *droit*.

Le long supinateur gauche avait encore une grande chronaxie et des contractions galvanotoniques, mais il y avait déjà une diminution de la chronaxie au point moteur et le muscle était excitable par le nerf.

Voici cette expérience :

MUSCLE	COTÉ GAUCHE τ	COTÉ DROIT τ	CHRONAXIE NORMALE
1° Long supinateur :			
20 février 1920	25 σ		
28 octobre 1920 (en voie d'amélioration)	9 σ ,2	0 σ ,32	
La répercussion sur le côté droit est nette.			0 σ ,08 à 0 σ ,46
2° Deltoïde :			
N'a subi aucune évolution.			
26 février 1920	Inexcitable	0 σ ,12	
28 octobre 1920	Inexcitable	0 σ ,12	
Il n'y a pas de répercussion.			

Un an plus tard, le 6 octobre 1921, l'état est toujours le même. Le deltoïde gauche est inexcitable et le deltoïde droit a une chronaxie normale.

Je soumetts alors le blessé à un traitement par ionisation d'iode localisée au creux sus-claviculaire de manière que le courant traverse la suture, dans le but d'améliorer la cicatrice cutanée et dans l'hypothèse que peut-être le nerf circonflexe s'est trouvé englobé dans des tissus cicatriciels. C'était une hypothèse plausible pour expliquer la régénération du radial sans régénération du circonflexe après la suture du tronc commun aux deux nerfs.

En six semaines d'ionisation, du 6 octobre 1921 au 28 novembre, le tableau change du tout au tout. Jusqu'au 6 octobre, le deltoïde était si atrophié que l'articulation scapulo-humérale était littéralement sous la peau et baillait au point qu'on pouvait introduire l'extrémité du petit doigt entre les surfaces osseuses écartées, tant était grande l'hypotonie du deltoïde.

Le 28 novembre, après 53 jours seulement de traitement, le deltoïde commence à augmenter de volume, de bas en haut, comme je l'ai si souvent constaté; l'articulation scapulo-humérale ne baille plus; *bien plus, le blessé contracte maintenant volontairement son deltoïde* au point que, non seulement on voit les faisceaux musculaires se contracter, mais qu'il se produit un léger mouvement d'abduction du bras.

L'excitabilité électrique du deltoïde est réparée. Il y a donc eu une

évolution très importante du côté du deltoïde sous l'influence du traitement.

En même temps, il apparaît une répercussion indubitable du côté opposé.

DATES	SIÈGE DE L'EXCITATION	CHRONAXIES		CHRONAXIE NORMALE
		CÔTÉ GAUCHE	CÔTÉ DROIT	
6 octobre 1921 . . .	Points moteurs	Inexcitab.	0 σ.12	
28 novembre 1911. Signes évidents de restauration clinique.	Portion antérieure :			0 σ.08 à 0 σ.16
	Contraction ralentie .	7 σ.2	0 σ.72	
	Portion moyenne :			
	Contraction ralentie .	6 σ.4		
	Portion postérieure :			
	Contraction vive. . .	1 σ.46		

La répercussion est évidente.

Puis l'amélioration du deltoïde gauche s'accroît peu à peu et sa chronaxie diminue.

Le 4 janvier 1923, un peu plus de 2 ans plus tard (2 ans + 5 semaines), la chronaxie du deltoïde gauche n'est plus que de 10 fois la valeur normale et ses contractions sont vives. Leur amplitude est encore un peu diminuée. La répercussion a disparu :

	CÔTÉ GAUCHE	CÔTÉ DROIT
	—	—
Deltoïde antérieur. Point moteur. — 4 janvier 1923. . .	1 σ.40	0 σ.12

Cette observation, véritable expérience, montre bien que la répercussion existe pendant la réparation, comme elle existait pendant la dégénérescence dans l'exemple précédent.

J'ai observé aussi les répercussions dans les affections médicales des nerfs périphériques. Mais la démonstration est moins péremptoire, parce qu'on peut toujours supposer que la cause pathologique, infection ou autre, a pu agir simultanément sur les deux côtés.

Cependant, dans les affections bien localisées, comme la paralysie faciale périphérique dite *a frigore*, l'existence de variations de la chronaxie du côté opposé est assez démonstrative.

En voici un exemple :

Observation. — Mme P... — Paralysie faciale gauche datant du 18 mars 1922. — Dégénérescence avec inexcitabilité du nerf et contractions lentes sur les muscles.

MUSCLE	CHRONAXIE				CHRONAXIE NORMALE
	COTÉ GAUCHE		COTÉ DROIT		
	POINT MOTEUR	EXCITATION LONG.	POINT MOTEUR	NERF	
Orbiculaire infé- rieur des lèvres	8 σ,4	"	0 σ,48	0 σ,32	0 σ,20 à 0 σ,36 0 σ,44 à 0 σ,72
Sourcilier	6 σ,4	16 σ,4	0 σ,68	0 σ,32	
Frontal	10 σ,8	"	1 σ	0 σ,48	

Je pourrais ainsi multiplier les exemples de répercussions. Ils ne diffèrent entre eux que par la valeur de la chronaxie.

Dans quelques cas exceptionnels, la répercussion peut aller jusqu'à la réaction de dégénérescence caractérisée (contraction lente et chronaxie très grande), comme il en a été publié quelques exemples par différents auteurs pendant la guerre. Ces faits ne sont que des cas extrêmes, exceptionnels, de la loi générale de la répercussion, qui est constante. De même l'ophtalmie sympathique me paraît n'être qu'un cas particulier de cette même loi.

Des modifications de la chronaxie des points moteurs du côté opposé ne peuvent s'expliquer que par voie réflexe, c'est-à-dire par une action des centres.

Le nerf et le muscle malades, sièges d'un processus de dégénérescence ou de régénération, sont le point de départ d'influx nerveux sensitifs modifiés. Cette excitation anormale arrivée aux centres agit, par voie réflexe, sur la trophicité des muscles du côté opposé. Je reviendrai sur cette question à propos des expériences que j'ai faites sur l'Homme avec H. Laugier, qui sont à rapprocher aussi d'expériences plus récentes de Mme Lapique sur l'action des centres sur la chronaxie des nerfs périphériques et des muscles.

Tous ces faits concourent à démontrer que l'état fonctionnel des centres est capable de modifier la chronaxie motrice périphérique.

B. — Atrophies réflexes.

1° Origine articulaire. — Il n'est pas nécessaire, pour qu'il y ait répercussion, que la lésion siège sur le nerf mixte. On sait depuis longtemps que la lésion d'une articulation produit l'atrophie des muscles qui la meuvent. C'est ce que, depuis Charcot, on appelle *atrophie réflexe*. Or, d'après mes recherches, dans l'atrophie réflexe la chronaxie se modifie de la même manière et prend des valeurs du même ordre de grandeur que dans les répercussions. Même la répercussion se produit du côté opposé. Ainsi dans les lésions articulaires du genou, la chronaxie augmente de 2 à 10 fois la valeur normale

dans le quadriceps du côté malade et de 1 à 2 à 3 fois la normale dans le quadriceps du côté opposé. En voici un exemple :

Observation. — Mlle G., Jeanne, 23 ans. — Entorse du genou gauche le 30 août 1921. Atrophie réflexe du quadriceps gauche. — Examen du 16 novembre 1921.

Qualitativement, les contractions sont vives; mais il y a diminution d'amplitude des contractions de tous les faisceaux du quadriceps crural gauche.

MUSCLES OU NERFS	CHRONAXIES		CHRONAXIE NORMALE
	GAUCHE	DROIT	
Vaste interne. Point moteur. . .	0 σ .24	0 σ .20	0 σ .08 à 0 σ .16
Droit antérieur. Point moteur. .	0 σ .28		
Nerf crural (seuil du quadriceps).	0 σ .12	0.12	

La chronaxie du nerf est normale des deux côtés, mais la chronaxie des points moteurs du quadriceps est augmentée légèrement des deux côtés, un peu plus du côté de l'entorse que du côté opposé. Toutes les atrophies réflexes que j'ai examinées présentaient, de même, une augmentation légère de la chronaxie bilatéralement.

2° Origine tendineuse. — Les lésions des tendons sont le point de départ des mêmes altérations de la chronaxie que les lésions articulaires. Charcot, en décrivant les atrophies réflexes, avait d'ailleurs déjà signalé que c'était non seulement les lésions articulaires, mais les lésions de tous les tissus périarticulaires, y compris les tendons, qui pouvaient produire l'atrophie réflexe, dite aussi « abarticulaire ».

Voici un exemple de *répercussion* réflexe d'une lésion tendineuse sur la chronaxie des muscles :

Observation. — Mme C., Marguerite, 51 ans. — Examen du 7 novembre 1922. — Cette observation réalise une véritable expérience. Il s'agit, en effet, de la section d'un tendon par le chirurgien, dans un but thérapeutique.

Cette malade, atteinte d'hémi-athétose gauche datant de l'enfance, avait des contractions tellement violentes des muscles de l'épaule gauche qu'elles provoquaient des luxations de l'épaule et de vives douleurs. Pour supprimer ces phénomènes pénibles, le Dr Souques fit sectionner les tendons du grand pectoral et du grand dorsal.

J'ai étudié l'excitabilité de ces muscles quelques semaines après cette opération.

Disons que, dans les états pathologiques qui déterminent des mouvements incessants, j'ai toujours trouvé les chronaxies normales, comme je vais le démontrer tout à l'heure. Il n'est donc pas possible

d'attribuer à l'athétose les modifications de la chronaxie. Comme contre-épreuve d'ailleurs, j'ai exploré en même temps l'excitabilité de trois muscles du même côté, auxquels on n'avait pas touché et qui sont atteints des mêmes contractions que les muscles dont les tendons étaient sectionnés.

Ces trois muscles, le trapèze, le biceps et le fléchisseur commun superficiel des doigts ont des chronaxies normales :

MUSCLES DU CÔTÉ GAUCHE POINTS MOTEURS	CHRONAXIE	CHRONAXIES NORMALES
1 ^o Tendons sectionnés.		
Grand pectoral : Portion supérieure. . .	0 σ ,24	0 σ ,08 à 0 σ ,16
— Portion inférieure. . .	0 σ ,20	
Grand dorsal : Point moteur . . .	0 σ ,36	
2 ^o Tendons intacts.		
Biceps.	0 σ ,12	0 σ ,20 à 0 σ ,36
Trapèze cervical.	0 σ ,16	
Fléchisseur superficiel : Faisc. du 3 ^e doigt.	0 σ ,28	

La répercussion de la section du tendon sur la chronaxie du point moteur est évidente.

3^o **Origine osseuse.** — J'ai même vu, chez des blessés de guerre, des atrophies musculaires avec modifications de la chronaxie analogues aux précédentes, dans des cas de lésions osseuses. Ainsi, chez un blessé dont le quatrième et le cinquième métacarpiens avaient été fracturés, la chronaxie était très modifiée dans les muscles insérés sur les os fracturés, et plus légèrement modifiée dans les muscles du même domaine, non insérés sur les os qui avaient été fracturés. Voici son examen résumé :

Observation. — Y., Jean-Baptiste. — Blessé par balle à la main gauche le 17 février 1916. — Examen du 28 octobre 1916 : Fracture consolidée importante du corps du 4^e métacarpien, et moins importante de la tête du 5^e métacarpien. Les chronaxies sont réunies dans le tableau suivant :

MUSCLE MAIN GAUCHE	CHRONAXIE	CHRONAXIE NORMALE
1 ^o Muscles insérés sur les os fracturés.		
4 ^e métacarpien. 3 ^e interosseux dorsal. . .	2 σ ,64	0 σ ,20 à 0 σ ,36
5 ^e métacarpien. 4 ^e interosseux dorsal. . .	0 σ ,88	
Adducteur au 5 ^e doigt.	0 σ ,63	
2 ^o Muscles innervés par le cubital non insérés sur les os fracturés.		
1 ^{er} interosseux dorsal.	0 σ ,18	

Le 3^e interosseux, inséré sur l'os le plus lésé, a la chronaxie la plus grande. Le 1^{er} interosseux, non inséré sur les os fracturés, est le siège d'une répercussion analogue à celle que nous avons vue d'un côté sur l'autre. Pas de répercussion sur le côté opposé chez ce blessé.

Tous ces faits sont du même ordre. Ils montrent qu'il faut considérer, à côté des lésions directes du nerf moteur produisant la dégénérescence des muscles innervés, des modifications d'excitabilité par voie réflexe : le point de départ de ce réflexe peut siéger sur le trajet du nerf mixte lésé ou seulement sur les filets sensitifs qui innervent un organe malade en rapport fonctionnel avec le muscle (os, articulation ou tendon).

À côté des altérations pathologiques de l'excitabilité à distribution périphérique (lésion d'un nerf) ou à distribution radiculaire (lésions des racines rachidiennes) il faut faire une place aux altérations *régionales* dont le mécanisme est un mécanisme réflexe. Le terme « réflexe » en pathologie doit donc prendre une signification beaucoup plus extensive que celle qu'on lui a donnée jusqu'à présent.

La répercussion de la lésion d'un nerf sur le nerf symétrique fait comprendre, je pense, le caractère généralement symétrique de toutes les maladies du système nerveux.

C. — Modifications de la chronaxie par répercussion de la lésion des neurones auxquels ils sont fonctionnellement associés.

Le phénomène de la répercussion des lésions d'un nerf sur les nerfs de même chronaxie n'est, en réalité, qu'un cas particulier d'un phénomène beaucoup plus général. J'ai vu, en effet, que toute lésion d'un neurone quelconque peut retentir sur les neurones moteurs périphériques qui lui sont fonctionnellement associés.

Dans les répercussions, la valeur de la variation de la chronaxie, en plus ou en moins, reste en général entre le 1/3 de la valeur normale et 10 fois cette valeur comme dans les répercussions que je viens d'étudier et dans les atrophies réflexes. Sur les points moteurs des muscles, tantôt la chronaxie diminue jusqu'à la 1/2 ou le 1/3 de la valeur normale, tantôt elle augmente jusqu'à 2 à 10 fois cette valeur. Sur le nerf elle reste quelquefois normale, mais, le plus souvent, elle augmente légèrement.

J'ai observé ces répercussions sur le nerf et le muscle dans les lésions les plus diverses.

1^{re} Lésions du neurone sensitif périphérique. — *Zona, tabes, névralgies diverses sans troubles moteurs ni des réflexes cliniquement décelables.*

C'est dans les neurones moteurs correspondant aux neurones sensitifs malades qu'on observe la répercussion dans toutes ces affections.

Le tabes est certainement l'affection la plus démonstrative de ces répercussions, car il s'agit d'une lésion bien définie et bien localisée du système sensitif périphérique.

Dans le zona, comme dans les névralgies, le siège de la lésion du neurone sensitif permettrait d'invoquer une lésion simultanée sur le neurone moteur. En effet, dans le zona, la lésion siégeant dans le ganglion rachidien, le voisinage immédiat de la racine motrice accolée à ce ganglion, peut expliquer la transmission directe de la lésion du ganglion à la racine motrice. De même, dans les névralgies, lorsqu'elles ont leur point de départ dans le nerf mixte, la lésion peut porter globalement sur les fibres sensitives et motrices, et lorsqu'elles sont radiculaires on peut supposer que les racines motrices participent à la lésion des racines sensitives, surtout lorsque ces névralgies sont symptomatiques de lésions des articulations vertébrales.

Mais dans le tabes il s'agit bien d'une lésion localisée exclusivement dans le système sensitif.

Voici donc un exemple de la répercussion de cette lésion sur la chronaxie motrice dans le tabes :

Observation. — M. G., Joseph, 61 ans. — Tabes confirmé datant de 6 ou 7 ans.

La répercussion sur la chronaxie des points moteurs musculaires paraît s'accuser surtout au moment des crises de douleurs fulgurantes. En effet, la chronaxie des mêmes muscles a été trouvée tantôt normale, tantôt modifiée, suivant que le malade était ou non dans une crise de douleurs fulgurantes comme le montre le tableau suivant :

DATE	ÉTAT DU MALADE	MUSCLES (POINTS MOTEURS)	CHRONAXIE	τ_n	$\frac{\tau}{\tau_n}$
12 Avril 1921.	Crise de douleurs fulgurantes des membres inférieurs.	Jumeau { Droit . . interne. } Gauche.	0 σ ,16 0 σ ,24	0,44 à 0,72 moy.	1/4 1.25
26 Avril 1921.	Pas de douleurs fulgurantes.	Jumeau { Droit . . interne. } Gauche.	0 σ ,48 0 σ ,44		

Les faits isolés, publiés par certains auteurs, de réaction de dégénérescence au cours du zona et d'atrophie musculaire du tabes, ne sont probablement que des cas extrêmes du fait général que j'ai observé.

2° Lésions du neurone moteur central (faisceau pyramidal) et **Lésions des voies motrices centrales extra-pyramidales** (corps oplo striés)¹. — *Hémiplégies cérébrales, pédonculaires, protubéran-*

1. H. CLAUDE et G. BOURGUIGNON. La forme de la contraction et la chronaxie dans deux cas d'encéphalite léthargique. *Soc. de Neurologie*, 6 janvier 1921 (*Rev. Neurol.*, n° 1). — G. BOURGUIGNON et LAIGNEL-LAVASTINE. La chronaxie dans les

tielles, bulbaires. Hémiplegies spinales, monoplegies et paraplégies par lésions diverses de la moelle. — Maladies de Parkinson, syndromes parkinsoniens, maladie de Wilson, etc.

Je n'ai pas encore eu l'occasion d'étudier à ce point de vue les affections cérébelleuses.

Dans toutes ces affections, les répercussions ne s'observent que chez les malades qui ont de la contracture ou de la rigidité musculaires. Au contraire, quand il y a du tremblement ou des mouvements choréiformes, la chronaxie des nerfs moteurs et des muscles reste normale. Il en est de même dans les hémiplegies flasques.

En règle générale, dans la contracture (lésions du faisceau pyramidal) et dans la rigidité (lésions des voies motrices centrales extrapyramidales), la chronaxie diminue au point moteur des muscles contracturés ou rigides, et augmente au point moteur des muscles non contracturés; les muscles à chronaxie augmentée sont, le plus souvent, les antagonistes des muscles contracturés ou rigides. C'est le cas le plus fréquent dans l'hémiplégie cérébrale et dans les syndromes parkinsoniens au membre supérieur; dans ce cas, l'attitude est celle de la contracture en flexion : la chronaxie est inférieure à la normale aux points moteurs des fléchisseurs et plus grande que la normale aux points moteurs des extenseurs.

Sur les nerfs, la chronaxie est, en général, augmentée et il y a un certain hétérochronisme entre le nerf et le point moteur.

Quelquefois, la chronaxie des points moteurs des muscles varie un peu différemment. Le cas le plus rare est celui où la chronaxie du muscle contracturé reste normale, et celle de l'antagoniste non contracturé augmente. Plus souvent, on observe la diminution de la chronaxie du muscle contracturé, avec chronaxie normale dans l'antagoniste non contracturé. Dans tous ces modes de variation, le résultat final est toujours le même : *le rapport entre la chronaxie des fléchisseurs et la chronaxie des extenseurs est plus grand que normalement.*

Dans quelques cas, la contracture porte à la fois sur les fléchisseurs et les extenseurs. J'en ai observé un exemple typique dans une hémiplégie spinale par blessure de guerre. Les doigts prennent une attitude en griffe (extension de la 1^{re} phalange et flexion des autres) et le poignet est rigide dans le prolongement de l'avant-bras : la chronaxie était diminuée, à la fois, dans les extenseurs et les fléchisseurs et *le rapport de leurs chronaxies était plus petit que normalement.*

Des phénomènes semblables s'observent aux membres inférieurs. Les attitudes que prennent les membres affectés paraissent donc liées

syndromes parkinsoniens. Réunion annuelle de la Soc. de Neurol., 3 juin 1921 (Rev. Neurol., n° 6). — G. BOURGUIGNON. La chronaxie dans les états de rigidité musculaire en général. Réunion annuelle de la Société de Neurologie, 3 juin 1921 (Rev. Neurol., nos 6 et 7-8).

au rapport des chronaxies des différents groupes musculaires antagonistes. Il en est de même, d'ailleurs, à l'état normal¹.

Il semble donc bien qu'il y ait une relation entre la chronaxie du point moteur musculaire et la tonicité du muscle, au moins dans certaines conditions.

Quelques exemples de ces modifications de la chronaxie en rapport avec les états de contracture et de rigidité musculaires dans les lésions du faisceau pyramidal et dans celles des corps opto-striés mettront bien ces faits en évidence.

a) *Hémiplégies cérébrales.* — *Sujet I.* — Mme Ch., 42 ans. — *Ictus* le 22 décembre 1920. — *Hémiplégie gauche.*

Fort contracture du membre supérieur et du membre inférieur, constituée depuis 15 à 18 mois au moment de l'examen du 15 juin 1922 :

Examen du 15 Juin 1922. — Membre supérieur : contracture en flexion et pronation, portant sur le bras et l'avant-bras.

Membre inférieur : contracture avec extension de la jambe sur la cuisse et attitude du pied en varus équín et relèvement du gros orteil.

Dans le tableau suivant, je fais le rapport de la chronaxie des muscles postérieurs τ_p à celle des muscles antérieurs τ_A . J'indique à côté le rapport normal.

MUSCLE (CÔTÉ GAUCHE)	CHRONAXIE	τ_n	$\frac{\tau_p}{\tau_A}$	$\frac{\tau_p}{\tau_A}$ NORMAL
1 ^o Membre supérieur :				
Bras { Vaste externe du tri-	0 σ ,64	0 σ ,16 à 0 σ ,32	8	2 à 3
ceps	0 σ ,08	0 σ ,08 à 0 σ ,16		
Biceps				
Avant-bras { Extenseur commun	0 σ ,52	0 σ ,44 à 0 σ ,72	4	2 à 3
des doigts (4 ^e doigt).				
Fléchisseur superfici-	0 σ ,12	0 σ ,20 à 0 σ ,36		
ciel (4 ^e doigt). . . .				
2 ^o Membre inférieur :				
Jumeau interne.	0 σ ,32	0 σ ,44 à 0 σ ,72	Jumeaux	2 à 3
			extenseurs	
			0,35	
Extens. commun des orteils.	0 σ ,92	0 σ ,24 à 0 σ ,36	Jumeaux	2 à 3
Long péronier latéral. . . .	1 σ ,08		péroniers	
Extenseur propre du gros			0,29	
orteil.	0 σ ,24			

Les attitudes décrites sont nettement en rapport avec le rapport de la chronaxie des muscles postérieurs à celle des muscles antérieurs. Quand le rapport est diminué, la contracture siège du côté postérieur

1. G. BOURGUIGNON. *Congrès de Physiologie*, Paris, juillet 1922.

(ex : jambe); quand il est augmenté, c'est le contraire (bras et avant-bras).

Dans ce cas, le rapport des chronaxies est altéré, tantôt par la modification de l'un des deux termes, tantôt de l'autre et tantôt des deux qui varient en sens inverse.

Remarquons qu'au pied, le gros orteil est très relevé, sa chronaxie est restée normale.

A la suite de cet examen du 15 juin 1922, la malade a été soumise à un traitement par ionisation calcique trans-cérébrale : une des électrodes est placée sur l'œil gauche pour que le courant trouve un chemin bon conducteur par les vaisseaux et liquides de l'œil et de l'orbite jusqu'à la substance cérébrale.

Après quelques mois (du 15 juin au 8 décembre) seulement de ce traitement, la contracture a considérablement diminué. En même temps, les chronaxies sont revenues à leur valeur normale ou se sont améliorées.

Examen du 8 décembre 1922. — L'amélioration consiste en ce que l'extension complète des doigts est maintenant possible et que la malade a recouvré des mouvements du bras que la contracture lui rendait impossibles. *Les chronaxies ont repris leur valeur normale :*

MUSCLES		τ	τ_n	$\frac{\tau_p}{\tau_n}$	$\frac{\tau_p}{\tau_n}$ NORMAL
Membre supérieur :					
Bras	Vaste externe du triceps.	0 σ ,20	0 σ ,20 à 0 σ ,32	2,5	2 à 3
	Biceps.	0 σ ,08	0 σ ,08 à 0 σ ,16		
Avant-bras	Extenseur commun . . .	0 σ ,60	0 σ ,44 à 0 σ ,72	1,9	2 à 3
	Fléchisseur superficiel .	0 σ ,32	0 σ ,20 à 0 σ ,36		
Membre inférieur :					
Jambe	Jumeau interne	0 σ ,24	0 σ ,44 à 0 σ ,72	0,55	2 à 3
	Long péronier latéral . .	0 σ ,44	0 σ ,24 à 0 σ ,36		

Les chronaxies sont normales au membre supérieur. Elles sont encore modifiées au membre inférieur, mais le rapport qui était trop petit a augmenté.

L'amélioration clinique s'accompagne donc d'amélioration de la chronaxie.

C'est presque une variation expérimentale.

L'étude des hémiplegies non contracturées ou peu contracturées fournit, en quelque sorte, la contre-épreuve.

En effet, je n'ai trouvé de résultats semblables que dans les cas où la contracture était nettement déterminée dans un sens; dans les hémiplegies dans lesquelles la contracture est modérée et disséminée

sans prédominance nette d'un côté sur l'autre, on trouve des résultats variables. Enfin, dans les hémiplegies flasques, les chronaxies des muscles sont normales aussi bien dans les muscles antérieurs que dans les muscles postérieurs. En voici un exemple :

Sujet II. — Mme L., Madeleine, 55 ans. — *Ictus* le 24 mars 1921. — *Hémiplégie gauche.* — Le 3 février 1923 il ne reste que de la parésie, surtout au membre inférieur gauche. Au membre supérieur il y a de la parésie, mais pas de contracture. Réflexes olécrânien et radio-périosté exagérés. Chronaxies normales :

MUSCLES		CHRONAXIES τ	τ_n
Avant-bras	Extenseur commun des doigts. (Troisième doigt).	0 σ , 48	0 σ , 44 à 0 σ , 72
	Fléchisseur superficiel. (Troisième doigt).	0 σ , 28	0 σ , 20 à 0 σ , 36

b) *Paraplégies.* — M. L..., 35 ans. — *Paraplégie familiale* (mère, frère, sœurs, oncles et tantes maternels sont atteints).

Début vers l'âge de 30 ans.

Examen du 29 juin 1921. — Contracture en varus équin, des deux côtés. Réflexes rotuliens exagérés. Clonus bilatéral. Signe de Babinski en extension. — Chronaxies :

MUSCLES	CHRONAXIES	τ_n	$\frac{\tau_p}{\tau_v}$	$\frac{\tau_p}{\tau_v}$ NORMAL
Jambe (Jumeau interne	0 σ , 64	0 σ , 44 à 0 σ , 72	1	2 à 3
gauche (Long péronier latéral . .	0 σ , 60	0 σ , 24 à 0 σ , 36		

La variation est la même que chez l'hémiplégique avec contracture en varus équin à la jambe : le jumeau l'emporte sur le long péronier ; le rapport des deux chronaxies est diminué.

c) *Hémiplégie spinale.* — M. H., Georges. — *Blessure de la moelle cervicale par éclat d'obus* que la radiographie montre sur le côté gauche près du trou vertébral. — *Hémiplégie spinale gauche.* — Prédominance très marquée au membre supérieur avec forte trépidation spinale du poignet. Les muscles de l'avant-bras sont contracturés en totalité. Il en résulte que la main est fixée dans le prolongement de l'avant-bras dans une position intermédiaire à la flexion et à l'exten-

sion et que les doigts forment une griffe avec extension de la première phalange (contracture de l'extenseur commun) et flexion des deux dernières (contracture des fléchisseurs superficiels et profonds et de l'éminence thénar). — Chronaxies :

MUSCLES			CHRONAXIES	τ_n	$\frac{\tau_P}{\tau_n}$	$\frac{\tau_P}{\tau_A}$ NORMAL
Avant-bras gauche	Extenseurs.	Long abducteur du pouce.	0 σ , 24	{ 0 σ , 44 à 0 σ , 72 }	1	2 à 3
		Extenseur commun.	0 σ , 28			
	Fléchisseurs.	Grand palmaire.	0 σ , 24	{ 0 σ , 20 à 0 σ , 36 }		
		Cubital antérieur.	0 σ , 20			

La chronaxie est égale pour les muscles fléchisseurs et extenseurs à gauche.

À droite, au contraire, les chronaxies sont normales.

Sur les nerfs à gauche, les chronaxies sont normales.

NERFS	CHRONAXIES	τ_n
Nerf médian	0 σ , 28	0 σ , 20 à 0 σ , 96
Nerf radial.	0 σ , 52	0 σ , 44 à 0 σ , 72

C'est ce qu'on observe le plus généralement.

d) *Syndromes parkinsoniens*¹. — La chronaxie n'établit aucune différence entre la maladie de Parkinson classique, sans étiologie connue, et les syndromes parkinsoniens secondaires à l'encéphalite léthargique, avec lésions histologiques déterminées et localisées dans les corps opto-striés. Mais elle différencie le tremblement de la rigidité.

Les muscles qui sont le siège des contractions dans le tremblement conservent une chronaxie normale. Les muscles hypertoniques, dans la rigidité, chez les malades atteints de maladie de Parkinson sans encéphalite, comme chez les encéphalitiques, ont des chronaxies diminuées : la chronaxie des antagonistes est normale, diminuée ou augmentée suivant qu'ils participent ou non à l'hypertonie ou qu'ils sont hypotoniques. Ce sont les mêmes phénomènes que dans les contractures par lésion du faisceau pyramidal.

Chez les encéphalitiques récents, j'ai observé de la myotonie vraie

1. G. BOURGUIGNON et LAIGNEL-LAVASTINE. La chronaxie dans les syndromes parkinsoniens. *Revue neurologique*, 1921, n° 6, p. 656. — G. BOURGUIGNON. La chronaxie dans les états de rigidité musculaire en général. *Revue neurologique*, 1921, n° 6, p. 680 et n° 7-8, p. 955.

avec chronaxie augmentée : ces faits sont des cas de modifications de la chronaxie en rapport avec l'état des neurones moteurs et des muscles. Je n'en ferai donc pas l'étude ici ; je devrais d'ailleurs répéter, à leur sujet, tout ce que j'ai dit des myopathies, de la maladie de Thomsen et de la dégénérescence partielle.

Chez un de mes malades atteints de maladie de Parkinson non encéphalitique, j'ai observé une fausse myotonie légère.

En effet, dans le biceps des deux côtés, on observait une contraction tonique pendant le passage du courant, suivi de décontraction lente après l'ouverture. Cependant la chronaxie était normale. Frappé de cette contradiction j'ai regardé les choses de plus près et voici ce que j'ai observé : le malade dont il s'agit était surtout trembleur. Or, lorsqu'on fait attention à ne faire tomber l'excitation électrique (fermeture du courant galvanique) que pendant le relâchement complet, on n'observe ni galvanotonus, ni prolongement de la décontraction.

Au contraire, lorsque l'excitation tombe pendant qu'il y a du tremblement, on observe cette apparence de myotonie légère.

C'est donc bien au fait que l'excitation tombe pendant le tremblement qu'est due cette apparence de galvanotonus et même de myotonie légère. En réalité, la contraction est normale, comme l'est la chronaxie. Voilà une cause d'erreur dans l'examen des malades atteints de tremblement parkinsonien qu'on commet très facilement et que j'ai pu éviter grâce à la contradiction entre l'examen qualitatif et la mesure de l'excitabilité par la chronaxie.

J'ai vu le tremblement augmenter ou se réveiller sous l'influence de l'excitation électrique. Le tremblement est une cause de difficulté de la mesure de la chronaxie et on trouve facilement des chiffres trop grands si l'on ne fait pas attention à ne faire tomber l'excitation que pendant le repos du tremblement.

1^o MALADIES DE PARKINSON SANS ENCÉPHALITE. — *Sujet I.* — F., Romani, 68 ans. — *Maladie de Parkinson avec fort tremblement* et de date récente. — Le début de l'affection remontait à environ un an lorsque l'examen a été pratiqué le 25 janvier 1921. Le côté droit tremble plus que le côté gauche. Les réflexes sont tous normaux. L'examen électrique a montré que toutes les chronaxies sont normales.

Le tableau suivant le démontre :

MUSCLES	COTÉ DROIT			COTÉ GAUCHE			τ_n
	RHÉOBASE EN MILLIAMPÈRES	τ	CONTRACTION	RHÉOBASE EN MILLIAMPÈRES	τ	CONTRACTION	
Biceps :	mA.	σ .		mA.	σ .		
Point moteur. . .	4,3	0,12	Normale.	0,9	0,16	Normale.	0,08 à 0,16
Excit. longit. . . .	3,1	0,16	Fausse myotonie.			Fausse myotonie.	
Fléchisseur profond:							
Point moteur. . . .				2	0,32	Normale.	0,20 à 0,36
Cubital antérieur:							
Excit. longit. . . .				4,7	0,32	Normale.	
Extenseur commun des doigts :							
Point moteur. . . .	4,9	0,61	Normale.	2,5	0,56	Normale.	0,44 à 0,72

Sujet II. — Grap., Méd. 69 ans. — *Maladie de Parkinson avec prédominance de rigidité et de date ancienne.* — Le début de l'affection remonte à l'année 1914. Au mois de novembre 1914, le malade s'est mis à maigrir et à devenir asthénique. En même temps est apparu un tremblement du pouce et de l'index des deux mains. Pendant les années suivantes, les symptômes progressent jusqu'à l'état actuel.

Etat actuel. — Au moment de l'examen pratiqué le 1^{er} juin 1921, le tremblement du début s'est très atténué et a été remplacé par la rigidité. Le malade a l'aspect figé typique, le dos voûté, la tête penchée en avant. Les phalanges sont fléchies sur les métacarpiens, sauf pour le pouce qui est en extension et la main est déviée sur le bord cubital. La rigidité est plus grande à gauche qu'à droite. Les réflexes sont tous normaux. L'examen électrique des muscles de l'avant-bras gauche a donné les résultats suivants :

MUSCLES	RHÉOBASE EN MILLIAMPÈRES	τ	CONTRACTION	ÉTAT DU TONUS	CHRONAXIE NORMALE
Fléchisseur profond:					
Point moteur. . . .	1 mA,9	0 σ ,12	Normale.	Hypertonie.	0 σ ,20 à 0 σ ,36
Nerf	4 mA,2	0 σ ,24	Normale.		
Extenseur commun (3 ^e doigt) :					
Point moteur. . . .	2 mA,1	0 σ ,44	Normale.	Pas d'hypertonie.	0 σ ,44 à 0 σ ,72
Nerf	3 mA,2	0 σ ,56	Normale.		

Sujet III. — Mlle Rol., 54 ans. — Maladie de Parkinson, de date déjà ancienne, avec rigidité très prédominante.

Le début de l'affection remontait à trois ans au moment de l'examen de juin 1921. Elle a commencé par le côté droit, 6 mois après la ménopause.

Au jour de l'examen, la malade présente un facies figé, marche à petits pas, les bras soudés au corps, les avant-bras 1/2 fléchis. La raideur domine à droite. *Il n'y a pour ainsi dire pas de tremblement.* On ne constate aucun signe pyramidal. L'examen électrique fait bien ressortir les rapports du tonus et de la chronaxie :

MUSCLES	RHÉOBASE EN MILLIAMPÈRES	σ	CONTRACTION	ÉTAT DU TONUS	σ
Biceps gauche :	mA.	σ .			σ .
Point moteur.	1,5	0,06	Normale.	Hypertonie.	0,08 à 0,16
Fléchisseur superficiel gauche (5 ^e doigt) :					
Point moteur.	1,9	0,20	Normale.	Tonus normal.	0,20 à 0,35
Grand palmaire gauche :					
Point moteur.	2	0,08	Normale.	Hypertonie.	
Extenseur commun des doigts gauche. Faisceau du 4 ^e doigt :					
Point moteur.	2,1	0,36	Normale.	Hypertonie.	0,45 à 0,70
Faisceau du 3 ^e doigt :					
Point moteur.	9,1	0,36	Normale.	Hypertonie.	
Nerf	1,2	0,64	Normale.		

Sujet IV. — Mme L., 66 ans. — Maladie de Parkinson classique datant de 3 ans. — Cette malade présente une hypertonie considérable du biceps gauche. La chronaxie de ce muscle est une des plus petites que j'aie observées dans les syndromes parkinsoniens : elle est, en effet, de 0 σ ,04 (la chronaxie normale du biceps est 0 σ ,08 à 0 σ ,16).

Sujet V. — Guém., 49 ans. — Maladie de Parkinson classique. — Chez ce malade, l'hypertonie est aussi marquée dans les extenseurs que dans les fléchisseurs au membre supérieur : la chronaxie est diminuée dans tout le domaine radial.

Comme chez la plupart des malades précédents, la chronaxie varie peu sur le nerf et varie dans le sens d'une augmentation alors qu'elle est très diminuée au point moteur du muscle :

MUSCLES	RHÉOBASE EN MILLI- AMPÈRES	CHRONAXIE	TONUS	CHRONAXIE NORMALE
Extenseur commun droit :				
Point moteur.	2 mA.7	0,24	Forte	0,44
Nerf	4 mA.6	0,76	hypertonie.	
Long abducteur du pouce droit :				
Point moteur.	3 mA	0,24	Forte	0,72
			hypertonie.	

De ces cinq observations, il ressort nettement que, dans la maladie de Parkinson, le tremblement s'accompagne de chronaxies normales tandis que la rigidité s'accompagne d'altérations de la chronaxie au niveau des points moteurs : les muscles hypertoniques ont une chronaxie diminuée. Sur les nerfs, la chronaxie varie peu.

2° SYNDROMES PARKINSONIENS POST-ENCÉPHALITIQUES. — *Sujet I.* — Boub., Ray., 21 ans. — *Syndrome parkinsonien consécutif à une encéphalite datant de 14 mois.* — Le début de l'encéphalite remonte au mois d'avril 1920. La maladie a commencé par une névralgie mastoïdienne gauche. Puis le malade devient somnolent et s'endort n'importe où, ce qui lui a valu, étant soldat, des punitions. Pas de troubles oculaires au début. Ces symptômes s'améliorent au bout de quelques mois. Quelques semaines plus tard, en septembre, il apparaît du nystagmus et de la diplopie qui n'est que passagère, puis de la paresse du bras droit, La somnolence disparaît alors.

En novembre 1920, on constate l'existence d'un syndrome parkinsonien. Le malade, réformé, entre à Laënnec en avril 1921. A ce moment, le malade présente l'aspect d'un parkinsonien figé, mais avec un tremblement localisé à la main droite. En mai, le tremblement cesse.

Actuellement il présente l'aspect d'un *parkinsonien figé, sans tremblement.*

L'examen électrique pratiqué en mai 1921 révèle les mêmes altérations que chez les parkinsoniens classiques rigides et chez l'encéphalitique ancien dont j'ai publié l'observation avec H. Claude¹ : les chronaxies sont diminuées dans les muscles rigides au point moteur. Il y a hétérochronisme entre le nerf et le muscle. Le tableau suivant en donne des exemples :

1. H. CLAUDE et G. BOURGUIGNON, *loc. cit.*

MUSCLES	RHÉOBASE EN MILLI- AMPÈRES	τ	CONTRACTION	ÉTAT DU TONUS	CHRONAXIE NORMALE
Fléchisseur profond droit :					
Point moteur.	1 mA,8	0 σ ,12	Vive.	Hypertonie.	} 0 σ ,20 à 0 σ ,36
Nerf	1 mA,4	0 σ ,52	Vive.		
Cubital					
antérieur droit :					
Point moteur.	2 mA,5	0 σ ,28	Vive.	Pas d'hy- pertonie.	}
Nerf	1 mA,4	0 σ ,36	Vive.		

Ainsi, la chronaxie est diminuée au point moteur des muscles hypertoniques et normale au point moteur des muscles non hypertoniques. Sur le nerf elle est augmentée pour le muscle hypertonique. Il y a donc, outre la diminution de la chronaxie au point moteur, rupture de l'isochronisme normal du nerf et du muscle, dans les muscles hypertoniques.

Sujet II. — Mme Sch., 47 ans. — Syndrome parkinsonien post-encéphalitique avec catatonie de date récente. — Début de la maladie par diplopie et somnolence le 15 décembre 1919¹. — Syndrome parkinsonien précoce avec catatonie. L'examen électrique a été pratiqué le 24 mars 1920, 3 mois après le début de l'encéphalite.

A cette époque, la malade était apyrétique, mais elle était encore somnolente : elle avait l'aspect typique d'une parkinsonienne rigide, *sans tremblement*. Elle présentait, en outre, une catatonie typique.

L'examen électrique, que je n'avais pas interprété dans la note annexée à l'observation de Trétiakoff et Bremer, parce que c'était le premier cas de syndrome parkinsonien que j'examinais, a montré que cette malade présentait les deux ordres d'altérations de la chronaxie dont j'ai parlé dans mes communications avec H. Claude, puis avec Laignel-Lavastine.

¹ Certains muscles ont une grande chronaxie atteignant les valeurs observées dans les cas récents que j'ai étudiés avec H. Claude : la contraction des faisceaux qui ont la plus grande chronaxie est lente.

² Dans d'autres muscles, les chronaxies sont diminuées dans les muscles les plus hypertoniques. On y trouve donc ce que j'ai trouvé exclusivement chez les malades plus anciens.

Voici quelques exemples :

1. TRÉTIKOFF et BREMER. *Revue neurologique* 1920, p. 772.

MUSCLE	RHEOBASE EN MILLIAMPÈRES	τ	CONTRACTION ET TONUS	τ''
	mA.	σ .		σ .
Extenseur commun des doigts gauche. Faisceau du 4 ^e doigt :				
Point moteur	3,7	2,56	Légèrement ralentie.	
Excitation longitudinale.	3,5	6,40	Contraction un peu plus lente qu'au point moteur.	0,44 à 0,72
Nerf	2,9	0,76	Contraction vive.	
Fléchisseur profond :				
Point moteur	2,7	0,15	Contraction vive.	0,20
Nerf	3,2	0,30	Hypertonie. Contraction vive.	à 0,36

Dans aucun muscle, je n'ai trouvé de galvanotonus ni de myotonie. Le léger ralentissement de la contraction de l'extenseur commun peut être considéré comme un début de galvanotonus. J'ai d'ailleurs démontré que le galvanotonus, la lenteur et la myotonie ne sont que 3 degrés d'une même réaction¹ (voir pages 247 et suivantes).

Sujet III. — Mme R., 30 ans. — Syndrome parkinsonien fruste, suite d'encéphalite léthargique datant d'un an avec signes pyramidaux. — Au moment de l'examen électrique pratiqué un an environ après le début de l'affection, la malade présente un certain état de torpeur, avec un aspect un peu figé et de la lenteur des mouvements. On ne trouve de rigidité qu'à droite. Du même côté les réflexes tendineux sont exagérés au membre supérieur et au membre inférieur et on observe l'extension du gros orteil.

A l'examen électrique qui a porté sur tous les muscles du membre supérieur, les contractions sont normales. Mais on trouve de légères altérations de la chronaxie qui est diminuée dans les muscles les plus hypertoniques. Chez cette malade, les premières phalanges, sauf pour le pouce, sont en extension. Il y a *hypertonie des extenseurs sans hypertonie des fléchisseurs.*

1. *Archives d'Electricité médic. et physiothérapie*, 10 juillet 1916, et *Congrès international de médecine de Londres* (avec E. HUET) août 1912.

Voici quelques exemples :

MUSCLE	RHÉOBASE EN MILLI- AMPÈRES	τ	TONUS	τ_n
Extenseur commun des doigts droit :				
Point moteur	3mA	0 σ ,36	Hypertonie.	0 σ ,44 à 0 σ ,72
Nerf	4mA,2	1 σ ,40		
Extenseur propre de l'index droit :				
Point moteur	2mA,8	0 σ ,32	Hypertonie.	0 σ ,20 à 0 σ ,36
Nerf	4mA,6	1 σ ,20		
Fléchisseur superficiel (3 ^e doigt) :				
Point moteur	3mA,3	0 σ ,28	Pas d'hypertonie.	0 σ ,20 à 0 σ ,36
Nerf	3mA,2	0 σ ,32		

A gauche, on ne trouve pas de rigidité, ni de signes pyramidaux : les chronaxies sont normales.

Il est à remarquer que la chronaxie des nerfs innervant les muscles rigides est augmentée. J'ai déjà fait remarquer, à propos des autres malades, cette variation en sens inverse de la chronaxie du nerf et du point moteur qui est fréquente, mais non constante.

3^e SYNDROME PARKINSONNIEN CHEZ UN PSEUDO-BULBAIRE, DATANT DE PLUS DE 3 ANS. — M. Doctr., 51 ans. — Dans le courant de l'année 1917, la maladie a débuté par un petit ictus suivi d'hémi-parésie gauche. Peu à peu, lentement, s'est constitué le syndrome pseudo-bulbaire actuel.

Au moment de l'examen électrique, pratiqué le 12 mars 1921, le malade présente un aspect soudé caractéristique, la tête et le corps penchés en avant, les bras collés au corps en 1/2 flexion, les membres inférieurs demi-fléchis. Il marche à tout petits pas. Le facies est très rouge, la parole embarrassée. Les réflexes tendineux sont tous exagérés des deux côtés. Le signe de Babinski est en extension des deux côtés. Le malade a de l'hypertension artérielle (Mx=22, Mn=13, au Pachon). Il se plaint d'avoir toujours trop chaud.

Quand on cherche à mobiliser les différents segments des membres supérieurs, on constate que tous les muscles sont contracturés, aussi bien les fléchisseurs que les extenseurs. L'examen électrique montre, avec des contractions normalement vives, des chronaxies diminuées dans tous les muscles des deux côtés.

En voici quelques exemples :

MUSCLES	COTÉ DROIT			COTÉ GAUCHE			τ_n
	RÉFLEXE EN MILLIAMPERES	τ	TONUS	RÉFLEXE EN MILLIAMPERES	τ	TONUS	
mA.	σ .		mA.	σ .		σ .	
Fléchisseur profond :							
Point moteur. . . .	2	0,08	Hypertonie.	1,7	0,12	Hypertonie.	0,20 à 0,36
Extenseur commun (4° doigt) :							
Point moteur. . . .	2,2	0,32	Hypertonie.	2,7	0,24	Hypertonie.	0,44 à 0,72
Nerf	3,5	0,28		2,4	0,56		

Chez ce malade, la chronaxie des nerfs a quelquefois diminué : j'ai retrouvé le même fait sur le nerf médian à gauche; mais je n'ai pas trouvé de chronaxies augmentées sur les nerfs, contrairement à ce que j'ai observé le plus souvent.

MUSCLES	COTÉ DROIT			COTÉ GAUCHE			τ_n
	RÉFLEXE EN MILLIAMPERES	τ	TONUS	RÉFLEXE EN MILLIAMPERES	τ	TONUS	
	mA.	σ .		mA.	σ .		
Extenseur commun des doigts (4 ^e doigt) :							
Point moteur. . . .	2	1,84	Hypotonie.	2,5	0,24	Hypertonie.	0,44 à 0,72
Extenseur propre de l'index :							
Point moteur. . . .	2,4	1,20	Hypotonie.	2,2	0,28	Hypertonie.	
Nerf	2,4	1,48		2,4	0,44		
Fléchisseur profond (4 ^e doigt) :							
Point moteur. . . .	0,9	0,28	Normal.				0,20 à 0,36
Nerf	0,7	0,36					
Grand palmaire :							
Point moteur. . . .	2	0,32	Normal.	1,8	0,28	Normal.	0,08 à 0,16
Nerf	0,9	0,36					
Biceps :							
Point moteur. . . .	1,1	0,08	Normal.	0,9	0,08	Normal.	

4^e MALADIE DE WILSON. — *Observation publiée par M. Souques*¹. — Corm.... 27 ans. — Le début de l'affection remontait à six ans, au moment de l'examen électrique pratiqué le 4 mai 1920. Les détails de l'observation clinique ont été publiés. Les symptômes prédominants sont le tremblement et la rigidité musculaire. La chronaxie est normale dans les muscles des bras, mais à gauche elle est augmentée dans les extenseurs et normale dans les fléchisseurs : l'attitude est une contracture en flexion. A droite, au contraire, la chronaxie est diminuée dans les extenseurs et normale dans les fléchisseurs; de sorte que les chronaxies ont les mêmes valeurs dans les extenseurs que dans les fléchisseurs : la première phalange reste fixée en extension. Voici quelques chiffres qui démontrent ces faits (voir p. 534).

e) *Maladie de Little*. — Mlle D... 29 ans. — Au moment de l'examen électrique, le 22 février 1921, la malade présente des *mouvements cloniques*, incessants du *membre supérieur gauche*, auxquels s'ajoute un tremblement intentionnel très marqué : il n'y a aucune résistance à la flexion ni à l'extension passives. Au *membre inférieur droit*, il n'y a que de la *contracture spasmodique avec équinisme* extrêmement prononcé, qui s'est reproduit malgré la section du tendon d'Achille pratiqué à l'âge de 8 ans.

La chronaxie est normale dans les muscles qui sont animés de tremblements ou de contractions cloniques.

Elle est diminuée dans les muscles qui sont contracturés et augmentée dans leurs antagonistes : il y a renversement du rapport normal de la chronaxie de ces deux groupes de muscles.

Voici quelques exemples pris parmi les muscles examinés :

MUSCLES	RHÉOBASES EN MILLIAMPÈRES	τ	TONUS	τ_n
1^o Membre supérieur droit : Tremblement et mouvements cloniques.				
Deltoïde :				
Point moteur	1 mA,5	0 σ ,12	Normal.	} 0 σ ,08 à 0 σ ,16
Long supinateur :				
Point moteur	2,3	0 σ ,16	Normal.	} 0 σ ,16 à 0 σ ,32
Vaste externe :				
Point moteur	3,8	0 σ ,24	Normal.	
2^o Membre inférieur gauche : Contracture en équinisme.				
Extenseur commun des orteils :				
Point moteur	4 mA	1 σ	Hypotonie	0 σ ,28 à 0 σ ,30
Jumeau interne :				
Point moteur	3,7	0 σ ,36	Hypertonie	0 σ ,44 à 0 σ ,72

1. *Revue neurologique*, loc. cit.

3° Contracture secondaire à la paralysie faciale périphérique

— J'ai observé des modifications analogues dans les contractures d'origine périphérique secondaires aux paralysies faciales périphériques. Généralement, la chronaxie est diminuée, relativement au moins, du côté malade et augmentée du côté sain.

En traitant par des excitations électriques les muscles du côté sain, qui ont une chronaxie augmentée, on voit diminuer la contracture du côté opposé¹. On observe d'ailleurs des résultats semblables chez les hémiplegiques contracturés en les traitant par la faradisation des antagonistes non contracturés comme l'avait proposé Duchenne de Boulogne. La mesure de la chronaxie est un guide sûr pour éviter de faradiser des muscles qu'il faut respecter.

J'ai examiné, maintenant, 6 sujets. Tous ont donné le même résultat. Il suffit donc d'en donner un exemple.

Observation. — Mlle B... 35 ans. — Paralysie faciale périphérique droite, ayant débuté le 15 août 1919. — Guérison de la paralysie — Apparition de la contracture le 20 novembre 1919.

Premier examen : 20 avril 1920.

Forte contracture du côté droit de la face. L'œil s'ouvrait à peine la bouche était fortement déviée à droite, avec relèvement du coin de la bouche; le pli naso-génien était considérablement accentué et les muscles du menton à droite donnaient à la palpation une sensation de dureté très grande et d'être immobilisés. La malade était fonctionnellement très gênée par sa contracture.

Les chronaxies du côté sain étaient augmentées :

MUSCLES	CHRONAXIES		CHRONAXIES NORMALES
	CÔTÉ DROIT	CÔTÉ GAUCHE	
Orbiculaire de la lèvre inférieure :			
Point moteur	0 σ,96	0 σ,72	0 σ,20 à 0 σ,30
Grand zygomatique :			
Point moteur	1 σ,04	0 σ,52	} 0 σ,44 à 0 σ,72
Nerf	2 σ,14	0 σ,64	

La chronaxie est augmentée des deux côtés : à droite, c'est reliquat de la dégénérescence ; à gauche, c'est la répercussion.

Deuxième examen : 5 mars 1921. — La contracture est toujours même.

MUSCLES	CHRONAXIES	
	DROIT	GAUCHE
Orbiculaire de la lèvre inférieure	0 σ,76	1 σ,44

La chronaxie à droite a diminué, mais à gauche, du côté sain, elle a augmenté. *Le reliquat de dégénérescence s'efface de plus en plus et la contracture augmente.*

Je sou mets alors la malade au traitement dont je viens de parler¹, et je fais des excitations faradiques sur les muscles du côté sain, à gauche.

La contracture s'atténue peu à peu et les chronaxies se modifient parallèlement.

Le traitement est suspendu le 23 juillet 1922 et la contracture continue à s'améliorer.

Le 5 décembre 1922, les deux yeux sont également ouverts. Au repos, la bouche est droite. Le pli naso-génien est à peine plus marqué à droite qu'à gauche. Les muscles du menton ne sont plus durs au toucher ou ne le sont que par intermittence. Enfin, la malade n'éprouve plus aucune gêne fonctionnelle de sa contracture.

Les chronaxies ont toutes diminué et beaucoup sont maintenant normales :

MUSCLES	CHRONAXIES		CHRONAXIES NORMALES
	CÔTÉ DROIT	CÔTÉ GAUCHE	
Houppes du menton :			
Point moteur	0 σ,76	0 σ,28	0 σ,20 à 0 σ,36
Orbiculaire de la lèvre inférieure :			
Point moteur	0 σ,32	0 σ,24	0 σ,44 à 0 σ,72
Grand zygomatique :			
Point moteur	0 σ,64	0 σ,48	
Nerf	0 σ,72	0 σ,52	
Orbiculaire de la paupière inférieure :			
Point moteur	0 σ,52	0 σ,56	

Toutes les chronaxies sont normales à gauche. À droite, la houppes du menton seule conserve une chronaxie encore un peu élevée.

Les variations de la chronaxie et de la contracture se suivent donc régulièrement. Ici, comme chez les hémiplegiques, dans les contractures très légères, on ne met pas en évidence les modifications de la

chronaxie. Cela ne prouve pas qu'il n'y en ait pas, mais seulement que, s'il y en a, elles sont trop petites pour l'approximation des mesures.

4^e Apparition de modifications de la chronaxie à la disparition de myoclonies secondaires à l'encéphalite léthargique. — Dans ce qui précède, nous avons vu que les affections dans lesquelles il y a des mouvements involontaires (tremblement, mouvements choréiformes, myoclonies) la chronaxie reste normale. Il est probable que l'activité dont le muscle est le siège empêche sa chronaxie de se modifier.

J'en ai eu la preuve dans l'observation de malades atteints de myoclonies secondaires à l'encéphalite léthargique¹.

Chez un certain nombre d'entre eux, à un moment donné de l'évolution, la myoclonie s'arrête. Immédiatement, on voit apparaître les modifications de la chronaxie que je viens de décrire dans les états de rigidité et de contracture. En voici deux exemples :

Observations. — *Sujet I.* — Mlle Et... Rose, 39 ans. — *Encéphalite léthargique du 20 décembre 1920 au 3 janvier 1921.* — *Séquelle sous forme de myoclonies localisées au membre supérieur et au membre inférieur droits.* La myoclonie a complètement disparu en mars 1922. Examinés au début d'avril, les muscles qui ont été le siège de myoclonies ont des chronaxies augmentées aux points moteurs :

MUSCLES		CHRONAXIES	CHRONAXIES NORMALES
Membre supérieur droit.	Deltoïde	0 7,64	0 5,08 à 0 5,16
	Biceps	0 7,56	
	Long supinateur	0 7,32	
	Extenseur propre de l'index :		0 5,44 à 0 5,72 0 5,20 à 0 5,36
	Point moteur supérieur	1 5,04	
	Point moteur inférieur	0 5,52	

Aux membres inférieurs, on constate des modifications de même ordre.

Avec ce que nous savons de la conservation de la chronaxie normale lorsqu'il y a des mouvements, nous pouvons présumer qu'à l'époque où il y avait de la myoclonie, les chronaxies étaient normales.

1. Ces observations ont été succinctement rapportées à ce point de vue dans la thèse de Mlle G. LÉVY. — *Thèse de la Fac. de Médéc. de Paris*, 1922. Manifestations tardives de l'encéphalite épidémique.

La preuve en est donnée par la malade suivante, qui présente encore de la myoclonie d'un côté au moment de l'examen.

Sujet II. — Mlle B... Jeanne. — Encéphalite léthargique du 1^{er} janvier 1921 à la fin de mars de la même année. — Séquelle sous forme de myoclonie des muscles du cou, à droite surtout. Cette myoclonie s'est peu à peu atténuée.

Au moment de l'examen, le 1^{er} juin 1922, il n'y a aucune myoclonie du trapèze cervical gauche, alors qu'il y a quelques secousses myocloniques du même muscle à droite. La chronaxie est normale à droite et augmentée à gauche :

MUSCLES		CHRONAXIES	ÉTAT DES MUSCLES	CHRONAXIES NORMALES
Trapèze cervical. Point moteur . .	Droit . . .	0 σ,12	Secousses myocloniques	0 σ,08 à 0 σ,16
	Gauche . . .	0 σ,56	Pas de secousses myocloniques	

J'ai examiné deux autres malades chez qui la myoclonie a disparu dans certains muscles et a persisté dans d'autres. Les muscles en état de myoclonie ont des chronaxies normales. Ceux qui n'ont plus de myoclonie ont des chronaxies modifiées.

La lecture de ces observations démontre donc bien ce que j'ai avancé et montre que la chronaxie ne différencie pas entre eux les divers syndromes de rigidité musculaire. La règle générale est que la chronaxie reste normale toutes les fois qu'il y a du tremblement ou des mouvements cloniques, tandis que le rapport normal de la chronaxie des extenseurs et des fléchisseurs est modifié, quand il y a de la rigidité musculaire. En général, la chronaxie est diminuée au point moteur des muscles hypertoniques et augmentée dans leurs antagonistes, quand il y a rigidité nettement en flexion ou en extension. Mais la diminution seule de la chronaxie d'un groupe ou l'augmentation seule de la chronaxie du groupe antagoniste produisent le même résultat que la variation en sens inverse de la chronaxie des deux groupes antagonistes. Enfin, quand la rigidité fixe le segment considéré dans une position rectiligne, la chronaxie devient égale dans les deux groupes antagonistes.

Sur les nerfs, la chronaxie varie peu. Le plus souvent, elle reste normale ou varie en sens inverse de celle du point moteur. Quelquefois, elle varie dans le même sens. Les faits constants se rencontrent au point moteur.

Les faits observés sont donc généraux. Tous les états de contraction ou de rigidité, que la cause en soit périphérique, comme dans la contracture secondaire à la paralysie faciale périphérique, ou centrale, en quelque région du système nerveux que ce soit, se comportent de la même manière au point de vue de la chronaxie. Je puis en dire autant des états de mouvements involontaires.

D. — Résumé.

En résumé on peut dire que :

1^o Toute lésion d'un neurone peut avoir une répercussion sur la chronaxie des neurones qui lui sont fonctionnellement associés. Il semble donc qu'on pourrait étendre, en pathologie, le sens du terme « réflexe » et qualifier de « réflexes » toutes les modifications observées dans un neurone par répercussion de la lésion d'un autre neurone qui lui est fonctionnellement associé.

2^o Quand il y a contracture ou rigidité, l'attitude paraît liée au rapport des chronaxies des extenseurs et des fléchisseurs, qui sont modifiées. Il paraît y avoir une relation entre le tonus et la chronaxie, à l'état pathologique, comme à l'état normal. Au contraire, quand il y a tremblement, ou mouvements choréiformes, la chronaxie motrice périphérique reste normale : l'activité dont le muscle est alors le siège empêche probablement sa chronaxie de se modifier.

Si nous essayons de synthétiser tous ces faits, nous voyons que c'est bien uniquement la valeur fonctionnelle des nerfs et des muscles que les réactions électriques en général, et la chronaxie en particulier, révèlent. La chronaxie établit des différences entre les muscles ayant des contractions de forme différente. Elle établit des différences entre les muscles contracturés et non contracturés, elle ne varie pas dans les cas dans lesquels il y a des mouvements (myoclonies, mouvements choréiformes, tremblements). Mais, si elle sépare ainsi nettement les différents états physiologiques des nerfs et des muscles, elle ne sépare pas les différentes maladies. Il n'y a aucune différence, au point de vue des réactions électriques, entre les muscles de la dégénérescence, des myopathies et des Thomsens, ni entre les muscles contracturés par lésion du faisceau pyramidal et les muscles rigides des syndromes parkinsoniens ; aucune différence entre la maladie de Parkinson et les syndromes parkinsoniens post-encéphalitiques.

Par contre, elle sépare les parkinsoniens rigides des parkinsoniens trembleurs, les muscles contracturés en général des muscles animés de mouvements continuels involontaires d'autre part. C'est donc toujours du point de vue fonctionnel qu'il faut voir la chronaxie en pathologie, comme nous l'avons vue en physiologie.

Telle est la façon dont la chronaxie se modifie dans les maladies du

système nerveux. On peut résumer tous ces faits dans le tableau synthétique suivant :

TABLEAU XV.

Modifications pathologiques de la Chronaxie.

FORME DE LA CONTRACTION	CHRONAXIE		
Contraction vive	1.3 à 10 fois la normale.	Répercussions { - Lésion d'un nerf mixte. - Lésion d'un neurone sensitif. - Atrophies réflexes . . . - Lésion des neurones centraux	Modifications permanentes
		Irritation Début de la dégénérescence wallérienne Troubles vaso-moteurs	
		Refroidissement Intoxications passagères	Modifications passagères
Ralentissement de la dé-contraction	5 à 15 fois la normale.	Dégénérescence wallérienne	
Galvanotonus à début brusque	10 fois la normale à 9 σ .	Myopathie	Modifications permanentes
Galvanotonus à début lent	9 σ à 20 σ .	Thomsen	
Contraction lente et contraction myotonique	10 σ à 70 σ .	Troubles vaso-moteurs Refroidissements Intoxications passagères	Modifications passagères

III

LOCALISATION DES POISONS ET DES INFECTIONS
SUR LES SYSTÈMES NEURO-MUSCULAIRES DE L'HOMME
SUIVANT LEURS CHRONAXIES¹

Ce fait devient patent lorsqu'on étudie la manière dont se localisent, sur les nerfs et les muscles, les différents poisons qui causent les principales intoxications en pathologie humaine; on voit que les poisons se fixent d'abord sur certains groupes neuro-musculaires, respectent les autres et que tous les groupes pris ont la même chronaxie¹.

Ces localisations électives ne s'observent avec netteté que dans les intoxications par petites doses répétées, ce qui est le cas le plus fréquent en pathologie humaine.

1. G. BOURGUIGNON. *C. R. Ac. des Sciences*, t. 173, p. 1136, 28 novembre 1921.

Ainsi, au membre supérieur, le plomb se localise sur les muscles innervés par le nerf radial, à l'exception du long supinateur. Les radiaux sont généralement moins paralysés et sont souvent respectés au début.

Or, en se reportant aux valeurs normales de la chronaxie de l'Homme que j'ai données, on voit que les muscles paralysés par le plomb dans le domaine radial sont d'abord exclusivement tous les muscles de grande chronaxie (extenseurs $0\sigma, 50$) puis les muscles de chronaxie moyenne (radiaux $0\sigma, 25$) et que le muscle respecté, le long supinateur, a une petite chronaxie ($0\sigma, 10$).

Lorsqu'un poison, ou certaines toxines, se localisent sur les fléchisseurs à l'avant-bras, c'est encore sur un groupe chronaxique que se fait la localisation.

A l'exception du plomb et de certaines toxines, la plupart des poisons (alcool, arsenic, sulfure de carbone, oxyde de carbone) se localisent d'abord aux membres inférieurs, principalement sur le domaine du nerf sciatique poplité externe (extenseurs)¹. Lorsque l'intoxication est légère, le poison se localise exclusivement sur le domaine du nerf sciatique poplité externe, à l'exception du jambier antérieur. C'est le cas constant pour le plomb, lorsqu'il se localise aux membres inférieurs; cette même localisation s'observe dans la paralysie alcoolique d'après J. Dejerine² et dans la paralysie arsenicale, d'après mes propres observations.

Quand l'intoxication s'étend, elle atteint d'abord le jambier antérieur, puis les muscles antérieurs de la cuisse et, en dernier lieu, et toujours très modérément, les muscles postérieurs de la jambe et de la cuisse.

Dans les névrites infectieuses, on observe la même localisation³ et le même ordre d'envahissement des divers groupes neuro-musculaires.

Dans la paralysie infantile même, qui est une infection localisée aux cellules motrices de la corne antérieure de la moelle, on observe une distribution analogue et, généralement, le jambier antérieur a le même sort que les muscles antérieurs de la cuisse.

L'intégrité du jambier antérieur, cependant, n'est pas toujours parfaite. Il est moins pris que les autres muscles dans les lésions toxiques ou infectieuses localisées au nerf sciatique poplité externe et il est souvent moins pris que les muscles de la cuisse dans les lésions localisées au domaine du crural.

Or, au membre inférieur, nous avons vu que le jambier antérieur a deux chronaxies, l'une de $0\sigma, 10$ à $0\sigma, 16$, plus petite que celle du reste du domaine du nerf sciatique poplité externe ($0\sigma, 30$) et semblable à

1. J. DEJERINE. Séméiologie des affections du système nerveux, 1914, p. 277, 377 et 606.

2. J. DEJERINE. Séméiologie des affections du système nerveux, 1914, p. 377.

3. J. DEJERINE, *loc. cit.*, p. 377.

celle des muscles antérieurs de la cuisse (0σ , 10 à 0σ , 16) et l'autre de 0σ , 20 à 0σ , 36, égale à celle du reste du domaine du sciatique poplité externe. Il est donc associé tantôt avec un des groupes et tantôt avec l'autre. Les poisons et infections se localisent donc, aux membres inférieurs, en général, sur les nerfs et muscles de chronaxie moyenne (0σ , 30), pour atteindre ensuite les systèmes neuro-musculaires de petite chronaxie (jambier antérieur, muscles antérieurs de la cuisse, 0σ , 13) et respecter les nerfs et muscles de grande chronaxie (0σ , 55, muscles postérieurs de la cuisse et de la jambe). Il y a donc une relation très nette entre la localisation des poisons et des infections des nerfs et muscles de l'Homme et la chronaxie.

La physiologie expérimentale montre d'ailleurs des faits analogues. Claude Bernard fait remarquer que le curare donné à petites doses, ne paralyse pas d'emblée tous les muscles mais successivement dans un ordre constant : « d'abord, dit-il, ce sont les nerfs des membres postérieurs, puis ceux des membres antérieurs, du larynx, de la face et ce sont les nerfs respiratoires qui persistent les derniers¹ ».

M. et Mme Lapicque², dans leurs études sur le curare, ont montré que les muscles des animaux sont d'autant plus sensibles au curare, que leur chronaxie est plus petite et qu'ils sont envahis dans l'ordre de leurs chronaxies.

J. Dejerine, à propos des localisations électives des poisons et infections, dit : « la pathologie de ces névrites dissociées est du reste encore tout entière à faire³ ».

Mes recherches, établissant une relation entre la localisation des poisons et des infections chez l'Homme et la chronaxie, d'accord avec les recherches de L. et M. Lapicque sur la localisation du curare, apportent une première pierre à l'étude de cette pathogénie.

D'autres causes doivent intervenir, car rien actuellement ne permet d'expliquer pourquoi, chez l'Homme, au membre supérieur, c'est sur les nerfs et muscles qui ont les chronaxies les plus grandes que se localise le plomb, alors qu'au membre inférieur, ce sont les nerfs et muscles de chronaxie moyenne qui sont les plus sensibles à l'action du plomb, aussi bien qu'à celle de la plupart des autres poisons et infections.

Quoi qu'il en soit, il résulte de ces recherches que :

1° Les poisons et les infections se localisent sur les nerfs et muscles suivant leurs chronaxies. Au membre supérieur, les nerfs et muscles les plus sensibles sont ceux de grande chronaxie (0σ , 55), au membre inférieur, ce sont les nerfs et muscles de chronaxie moyenne (0σ , 30) qui sont les plus sensibles.

1. Claude BERNARD. Leçons sur la chaleur animale 1876, p. 60 et 61.

2. L. et MME LAPICQUE. Action du curare sur les muscles d'animaux divers, *Bull. de la Société Biologie*, t. 68, n° 21, 17 juin 1910.

3. J. DEJERINE, *loc. cit.*, p. 377.

2° Tous les nerfs et muscles qui, dans un membre, ont la même chronaxie, ont à la fois les mêmes fonctions et les mêmes aptitudes pathologiques. La chronaxie exprime donc toutes les propriétés biologiques des nerfs et des muscles, aussi bien à l'état normal qu'à l'état pathologique.

Peut-être, s'il est permis de hasarder une hypothèse, la localisation des sécrétions internes agissant sur tel organe et non sur tel autre, et la localisation des auto-toxines (hépato-toxines, néphro-toxines) s'expliquent-elles par les différences de chronaxie des nerfs des différents organes.

CHAPITRE II

MODIFICATIONS EXPERIMENTALES DE LA CHONAXIE CHEZ L'HOMME ET CHEZ LE CHIEN

L'étude des variations de la chronaxie sous l'influence des causes pathologiques les plus diverses nous a montré que ces variations obéissent à quelques lois très simples qu'on peut résumer ainsi :

1^o La chronaxie varie avec l'état anatomo-physiologique du muscle, conditionné tantôt par des lésions des nerfs ou des muscles, tantôt par des troubles passagers, principalement dus à des variations circulatoires et les variations sont soumises nettement à l'influence du refroidissement et du réchauffement.

2^o La chronaxie varie sous l'influence des lésions les plus diverses de neurones variés en rapport fonctionnel avec les neurones moteurs et les muscles. Ces actions s'exercent par l'intermédiaire des centres et constituent l'ensemble de ce que je désigne sous le nom de « répercussions ». Ici, la variation de la chronaxie est en rapport avec la tonicité et les mouvements pathologiques conservent au muscle sa chronaxie normale.

Il était donc intéressant de rechercher si, chez un sujet sain, on pourrait expérimentalement faire varier la chronaxie en faisant agir sur lui certains facteurs.

C'est ainsi que j'ai étudié, avec H. Laugier, l'influence de la suppression de la circulation d'un membre par compression et de son rétablissement sur l'excitabilité et que, avec Tarnauceanu, j'ai étudié l'influence du refroidissement d'un membre sur la chronaxie.

J'ai en même temps recherché si les répercussions se produisaient dans ces expériences.

J'ai, d'autre part, commencé l'étude de la dégénérescence wallérienne expérimentale chez le Chien.

Ce sont ces expériences qu'il me reste à exposer.

Dans ces expériences, le sujet garde l'immobilité un temps prolongé. Il y avait donc lieu de s'assurer que l'immobilité, à elle seule, ne pourrait pas produire les mêmes effets que ceux que nous constatons.

En même temps, il arrive que le sujet, dans une expérience durant

une heure et plus, ne se relâche pas toujours aussi bien. Il fallait donc encore vérifier l'influence d'un mauvais relâchement sur la chronaxie et éliminer cette cause d'erreur ; cette expérience était d'autant plus importante à faire qu'on pouvait se demander si, chez les sujets atteints de contracture dont j'ai fait l'étude dans le précédent chapitre, le seul fait de ne pas être relâché ne pourrait pas produire les variations observées.

Ces expériences préalables devaient, si elles ne montraient aucune influence de l'immobilité, ni du mauvais relâchement sur la chronaxie, valider tout l'ensemble de mes recherches sur les répercussions en pathologie et des recherches expérimentales que j'étudie maintenant.

L'expérience a montré que, ni l'un, ni l'autre, de ces deux facteurs n'intervient et que toutes les conclusions précédentes ou à venir ne sont pas passibles de ces objections.

I

EXPÉRIENCES PRÉALABLES

A. — Recherches sur l'influence de l'immobilité sur la chronaxie d'un sujet normal¹.

Pour m'assurer que l'immobilité seule ne peut pas produire de modifications de la chronaxie, dans les expériences prolongées sur l'Homme, j'ai pris pendant 3/4 d'heure la chronaxie sur le même muscle et le même nerf, le sujet conservant une immobilité aussi complète que possible et comparable avec celle qui est réalisée dans les expériences qui vont suivre.

Je n'ai observé que des variations qui ne dépassent pas les limites de la précision des mesures.

Voici une expérience de ce genre, reproduite par le graphique de la figure 36.

Expérience du 11 juillet 1921 (voir fig. 36). — Extenseur propre de l'index du côté droit. — La chronaxie est mesurée alternativement sur le point moteur supérieur et sur le nerf radial. — Méthode monopolaire. — Electrode n° 2.

La chronaxie normale est comprise entre 0,44 et 0,72. La rhéobase a été vérifiée après la plupart des mesures de chronaxie.

1. G. BOURGUIGNON et H. LAUGIER. Modifications expérimentales de l'excitabilité par répercussion réflexe chez l'homme. *C. R. Société de Biologie*, t. LXXXVIII, p. 265, 3 février 1923.

HEURES	POINT MOTEUR						NERF					
	RHÉOBASE				CHRONAXIE		RHÉOBASE				CHRONAXIE	
	1 ^{re} MESURE		VÉRIFICATION		$\sigma\tau$	τ	1 ^{re} MESURE		VÉRIFICATION		$\sigma\tau$	τ
	VOLTS	MILLI-AMP.	VOLTS	MILLI-AMP.	mF		VOLTS	MILLI-AMP.	VOLTS	MILLI-AMP.	mF	
10 ^h 46	49	2,3	51	2,5	0,16	0 σ ,64	"	"	"	"	"	"
10 ^h 50	"	"	"	"	"	"	43	1,8	42	1,85	0,12	0 σ ,48
10 ^h 56	50	2,35	"	"	0,18	0 σ ,72	"	"	"	"	"	"
10 ^h 59	"	"	"	"	"	"	48	2,4	47	2,2	0,13	0 σ ,52
11 ^h 4	43	1,9	"	"	0,14	0 σ ,56	"	"	"	"	"	"
11 ^h 9	"	"	"	"	"	"	55	2,6	55	2,7	0,15	0 σ ,60
11 ^h 15	50	2,4	"	"	0,16	0 σ ,64	"	"	"	"	"	"
11 ^h 20	"	"	"	"	"	"	55	2,7	53	2,6	0,14	0 σ ,56
11 ^h 24	48	2,2	46	2,2	0,15	0 σ ,60	"	"	"	"	"	"
11 ^h 27	"	"	"	"	"	"	52	2,4	"	"	0,13	0 σ ,52
11 ^h 30	45	2,1	44	2,1	0,16	0 σ ,64	"	"	"	"	"	"
11 ^h 33	"	"	"	"	"	"	52	2,45	48	2,3	0,14	0 σ ,56

Sur le nerf, la chronaxie a oscillé tout le temps entre 0 σ ,48 et 0 σ ,60.
 Sur le point moteur, elle s'est tenue entre 0 σ ,60 et 0 σ ,72, c'est-à-dire

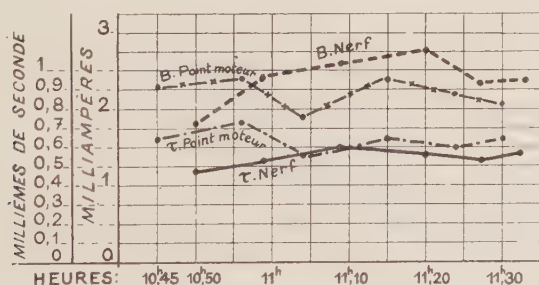


FIG. 36. — EXPÉRIENCE D'IMMOBILITÉ DU 11 JUILLET 1921.

Extenseur propre de l'index droit. — Point moteur supérieur et nerf.

que les chronaxies du nerf et du point moteur ont toujours été comprises entre les valeurs extrêmes de la chronaxie normale.

L'immobilité n'a donc aucune influence sur la chronaxie.

B. — Recherches sur l'influence de l'état de relâchement complet ou incomplet du muscle sur la chronaxie.

Mon collaborateur, le Dr Radovici, a bien voulu se prêter à ces expériences et me servir de sujet.

J'ai fait l'expérience sur le biceps, sur l'extenseur commun des doigts et sur le fléchisseur profond des doigts.

Après avoir mesuré la chronaxie au point moteur du muscle, le sujet se relâchant bien, je la mesure de nouveau pendant que le sujet maintient le muscle examiné en état de contraction à des degrés variables jusqu'au maximum de contraction. Quel que soit le degré de la contraction maintenue, la chronaxie est toujours la même : les variations observées sont toujours comprises entre les limites normales.

Bien entendu, on ne doit pas prolonger l'expérience jusqu'à la fatigue, sans quoi on ferait intervenir un nouveau facteur qui n'existe d'ailleurs pas chez les sujets dont les muscles sont contracturés.

Pour maintenir le muscle étudié à un degré de contraction déterminé, on fixe sur un plan résistant l'une des extrémités du segment du membre et l'autre extrémité se déplace devant un index placé à une hauteur déterminée au-dessus du plan de la table : le sujet maintient l'extrémité du segment étudié à la hauteur de cet index.

Expériences. — I. Biceps. — Expérience du 7 mars 1921. — Biceps droit au point moteur. — Méthode monopolaire. (Electrode n° 1). La rhéobase est vérifiée après chaque mesure de chronaxie. La chronaxie normale du biceps est comprise entre 0 σ ,08 et 0 σ ,16.

ETAT DU MUSCLE	RHÉOBASE				CHRONAXIE	
	1 ^{re} MESURE		VÉRIFICATION		r	c
	VOLTAGE	INTENS.	VOLTAGE	INTENS.		
Relâchement complet	40 v	1 mA,1	41 v	1 mA,2	0mf,025	0σ,10
Contraction légère : Coude appuyé sur la table. Styloïde radiale élevée à 10 ^{cm} au-dessus du plan de la table.	42 v	1 mA,3	"	"	0mf,03	0σ,12
Contraction plus grande : Styloïde radiale maintenue à 20 cm au-dessus de la table.	40 v	1 mA,1	41 v	1 mA,2	0mf,03	0σ,12
Relâchement complet	41 v	1 mA,2	40 v	1 mA,2	0mf,03	0σ,12

Non seulement il n'y a eu aucune influence de la contraction tonique du muscle examiné, sur la chronaxie, mais il n'y en a même pas eu sur la rhéobase.

II. Extenseur commun des doigts (faisceau du quatrième doigt. Point moteur supérieur). — *Expérience du 18 mars 1921. — Mêmes conditions que dans l'expérience précédente. — Le coude est appuyé sur la table. — Un coussinet soulève le poignet. — En relâchement,*

les doigts tombent en avant du coussinet qui maintient le poignet à une hauteur constante.

Le sujet contracte progressivement ses extenseurs de manière à élever l'extrémité d'un doigt à la hauteur de l'index directeur. Dans ces conditions, il y a contraction à la fois de l'extenseur commun et des interosseux.

L'expérience a été faite aussi en demandant au sujet de ne relever que la première phalange. Dans ces conditions, l'extenseur commun des doigts se contracte sans qu'il y ait de contraction des interosseux : les doigts prennent l'attitude qu'ils ont dans les griffes du nerf cubital et du nerf médian. — La rhéobase est vérifiée après chaque mesure de chronaxie. — La chronaxie normale est comprise entre $0\sigma,44$ et $0\sigma,72^1$.

ÉTAT DU MUSCLE	RHÉOBASE				CHRONAXIE	
	PREMIÈRE MESURE		VÉRIFICATION			
	VOLT.	INTENS.	VOLT.	INTENS.	$C\tau$	τ
Relâchement complet. L'extrémité du 3 ^e doigt repose sur le coussinet et se trouve à 6 cm au-dessus du plan de la table.	67 v.	2 mA,7	66 v.	2 mA,7	0 mf,13	$0\sigma,52$
Contraction légère simultanée de l'extenseur commun et des interosseux. Extrémité du 3 ^e doigt relevé à 8 cm au-dessus du plan de la table.	68 v.	2 mA,9	66 v.	2 mA,85	0 mf,13	$0\sigma,52$
Contraction plus forte. Les doigts sont relevés, les 3 phalanges en ligne droite dans le prolongement de la main. Extrémité du 3 ^e doigt à 10 cm au-dessus du plan de la table	67 v.	2 mA,8	66 v.	2 mA,8	0 mf,13	$0\sigma,52$
Contraction maxima de l'extenseur commun et des interosseux	67 v.	2 mA,9	67 v.	2 mA,9	0 mf,13	$0\sigma,52$
Contraction maxima de l'extenseur commun sans contraction des interosseux, attitude de griffe médico-cubitale	63 v.	2 mA,7	65 v.	2 mA,8	0 mf,13	$0\sigma,52$

Pas plus que sur le biceps, la contraction tonique pendant les mesures n'a fait varier ni la chronaxie, ni la rhéobase.

Des expériences semblables faites sur les fléchisseurs des doigts ont donné exactement les mêmes résultats.

1. Toutes les mesures ont été prises sur le point moteur supérieur du faisceau extenseur du 4^e doigt.

Au cours de ces expériences, j'ai pu me convaincre que, si les contractions du muscle examiné ne gênent pas la mesure de la chronaxie, il n'en est pas de même de la contraction d'un antagoniste.

Ainsi, on trouve des valeurs variables et par suite erronées de la chronaxie, en demandant au sujet de contracter plus ou moins les fléchisseurs pendant l'examen des extenseurs ou *vice versa*. Le fait s'explique très bien. La contraction de l'antagoniste s'oppose au mouvement produit par le muscle excité. Le seuil varie donc avec l'intensité de cette opposition.

Une conséquence pratique de ces faits est que, chez les sujets qui se relâchent mal, on obtient de meilleures mesures en leur demandant de contracter légèrement le muscle qu'on veut examiner, au lieu de leur demander de se mettre dans un état de relâchement complet qu'ils sont incapables de réaliser. Depuis que j'emploie ce procédé, je ne suis plus arrêté par la difficulté que présentent certains sujets à se relâcher complètement.

Ces expériences montrent donc, avec l'évidence la plus grande, que la contraction tonique d'un muscle normal ne modifie pas sa chronaxie.

On ne pourra donc pas considérer le mauvais relâchement comme une cause d'erreur.

Elles démontrent, en même temps, que les variations de chronaxie que j'ai observées dans les muscles contracturés ou en état de rigidité en pathologie sont des variations réelles liées à ces états et qu'un muscle contracturé par suite d'un processus pathologique n'est pas comparable à un muscle normal maintenu en état de contraction tonique volontairement.

II

MODIFICATIONS EXPÉRIMENTALES DE L'EXCITABILITÉ NEURO-MUSCULAIRE SOUS L'INFLUENCE DE LA SUPPRESSION ET DU RÉTABLISSEMENT DE LA CIRCULATION D'UN MEMBRE CHEZ L'HOMME¹

Les électrophysiologistes et les électrothérapeutes ont depuis longtemps remarqué que les modifications de la circulation produisent immédiatement de très profondes variations dans l'excitabilité des tissus irrigués, nerfs et muscles. Je rappelle seulement les travaux de

1. Ces expériences ont été faites avec la collaboration de H. LAUGIER et ont été publiées à l'Ac. des Sciences, C. R.

Elles doivent faire l'objet d'un mémoire qui sera publié sous nos deux noms dans les Archives internationales de physiologie.

Schiff¹, de Valentin², de Richard Geigel³ et, sans entrer dans les discussions auxquelles ces recherches ont donné lieu de la part de Huet⁴ et de Sudnik⁵, signalons que leur résultat essentiel a été de montrer l'action favorisante de la suspension de la circulation sur l'apparition de l'excitation d'ouverture.

A la suite des recherches de H. Laugier sur l'excitation d'ouverture il nous a paru intéressant de déterminer, au moyen des méthodes électro-physiologiques les plus récentes, les variations d'excitabilité qui accompagnent la suspension de la circulation dans un membre, par compression. De plus, nous avons étudié les variations de l'excitabilité après la décompression, pendant la période où la circulation se rétablit; disons tout de suite que c'est pendant cette période de réparation que se produisent les phénomènes les plus intéressants, parce que les plus inattendus.

On suspend la circulation, au membre supérieur par application d'un brassard pneumatique compressible (en l'espèce le grand brassard de l'oscillomètre de Pachon). Tantôt nous produisons la stase veineuse en appliquant directement ce brassard et tantôt nous produisons l'anémie en appliquant la bande d'Esmarck avant d'exercer la compression avec le brassard.

Après la décompression, les phénomènes sont les mêmes avec les deux procédés; mais, pendant la compression il y a quelques différences et les phénomènes sont plus réguliers dans le cas de l'anémie que dans le cas de la stase.

A. — Disposition des expériences.

Toutes nos expériences ont été faites sur le membre supérieur gauche.

Pour exercer la compression, on applique le brassard au bras aussi haut que possible afin de découvrir le point d'élection du nerf radial. La pression a varié entre 21 cm et 24 cm de Hg, nettement supérieure à celle qu'il était nécessaire d'employer pour arrêter le pouls à la radiale.

On suit l'excitabilité à l'avant-bras sur les extenseurs, en étudiant

1. SCHIFF. *Lehrbuch d. Muskel und Nervenphysiologie*. Jahr 1858, p. 80.

2. VALENTIN. *Das Zuckungsgesetz d. lebend. Nerven und Muskeln*, 1863 et *Lehrbuch d. Physiol. d. Menschen*. Auflage II, p. 24, 25, 634. — BRAUNSCHWEIG, 1855.

3. RICHARD GEIGEL. Ueber künstliche Abänderung d. normalen elektrischen Zuckungsformel des menschlichen nerven. *Münchener medizinische Wochenschrift*, 1893, n° 23, 447.

Untersuchungen über künstliche Abänderung d. elektrischen Reaction der menschlichen nerven. *Deutsches Arch. f. klin. med.*, 62, p. 178.

4. HUET. *Bull. officiel Soc. fr. Electrothérapie et Radiologie*, sept. 1897, p. 184, décembre 1897, p. 23.

5. SUDNIK, *ibid.*, 1909, p. 202.

le nerf, le point moteur musculaire et l'excitation longitudinale. Nous avons choisi les extenseurs, d'une part parce que leur chronaxie plus grande que celle des fléchisseurs rend les variations plus faciles à suivre et, d'autre part, parce que le nerf radial, moins mobile, est plus facile à exciter toujours au même point que les nerfs médian ou cubital.

C'est donc exclusivement sur les extenseurs qu'a porté cette étude.

Les variations de l'excitabilité ont été suivies par la mesure de la chronaxie au moyen de décharges de condensateurs.

La compression a été maintenue aussi longtemps que le sujet pouvait la supporter. La compression a toujours pu être supportée plus longtemps dans la compression avec stase veineuse (pas de bande d'Esmarck) que dans la compression avec anémie (application préalable de la bande d'Esmarck). Dans le premier cas, la durée de la compression a varié entre 35 et 45 minutes, ayant été de 37 à 39 minutes dans la majorité des expériences. Dans le deuxième cas, au contraire, la compression n'a jamais pu être supportée plus de 29 minutes, et encore sa durée a-t-elle été inférieure à 27 minutes dans la majorité des expériences et est-elle descendue à 21 minutes quelquefois.

Avant d'exposer la marche de l'excitabilité, il est nécessaire de décrire rapidement les divers phénomènes que l'on observe pendant et après la compression.

1^o Compression avec stase veineuse. — Les différentes expériences ont toujours donné la même succession de phénomènes; elles n'ont différé légèrement que par la rapidité plus ou moins grande de leur évolution, sans que les différences aient été très importantes.

Les phénomènes observés sont les uns objectifs et les autres subjectifs et concernent la circulation cutanée, l'état de la sensibilité et l'état de la motilité.

Au bout d'une à deux minutes de compression, le sujet éprouve une sensation de tiédeur. La peau de la main et de l'avant-bras, à ce moment, est légèrement pâle.

Peu après ce stade, au bout de 3 à 5 minutes, apparaissent des fourmillements. Vers la 7^e ou la 8^e minute, la peau devient marbrée avec des zones livides et des zones violacées. Le sujet éprouve une sensation de chaleur modérée. La pression détermine une sensation pénible de chaleur.

Au bout de 15 à 20 minutes, la sensation de tiédeur est remplacée

par une sensation de froid et les mouvements deviennent plus difficiles. A ce moment, le sujet éprouve, au bout des doigts, une sensation de corps étrangers. Les fourmillements continuent. Tout contact donne maintenant une sensation douloureuse de brûlure.

Vers la 20^e ou la 25^e minute apparaît l'anesthésie, localisée d'abord à un ou deux doigts, puis s'étendant progressivement à toute la main et à tout l'avant-bras. Des sensations douloureuses s'installent et les fourmillements disparaissent ou sont masqués par elles. La peau est toujours marbrée avec des taches livides et des taches violacées. Cet état marbré de la peau varie d'ailleurs un peu au cours de l'expérience.

Les mouvements deviennent de plus en plus difficiles, la paralysie s'installe progressivement. La paralysie de tout l'avant-bras et de la main est complète au bout d'un temps qui a varié entre 25 et 35 minutes.

À partir du moment où la paralysie est complète, la compression devient difficile à supporter. Le sujet éprouve une gêne croissante sous le brassard et tout l'avant-bras et la main sont le siège de sensations très douloureuses, difficiles à analyser, mais au milieu desquelles le sujet distingue une sensation de douleur profonde d'origine osseuse.

Huit à dix minutes après que la paralysie est complète, ces sensations douloureuses deviennent intolérables et l'on est obligé d'arrêter l'expérience. Aussitôt la compression supprimée, la main, l'avant-bras et le bras prennent une coloration rouge vif qui est nettement limitée en haut par le bord supérieur de la manchette compressive.

En moins d'une minute, la paralysie se dissipe, mais le sujet éprouve une intense sensation de chaleur et les fourmillements reparaissent extrêmement intenses. Le moindre choc sur les doigts ou la main, ou l'avant-bras, donne une sensation de vibration dans tout le membre.

Puis tout cela s'atténue peu à peu et 15 à 20 minutes après la décompression, tout est rentré dans l'ordre : la peau a repris sa coloration normale, la motilité et la sensibilité objective se sont rétablies et les sensations douloureuses ont complètement disparu.

2^o Compression avec anémie. — Lorsqu'on exerce la compression après avoir chassé tout le sang du membre par l'application de la bande d'Esmarck, dans l'ensemble les phénomènes sont semblables à ceux que je viens de décrire, sauf la coloration de la peau qui est blanche, cadavérique, pendant toute la compression, sans présenter aucune variation d'aspect ni aucune marbrure.

À part la coloration de la peau, on assiste à la même évolution des troubles sensitifs et moteurs et aux mêmes sensations douloureuses

que dans le premier cas ; mais l'évolution est plus rapide et la paralysie est complète entre la 21^e et la 27^e minute au lieu de la 25^e à la 35^e minute.

Après la décompression, les phénomènes sont absolument les mêmes, que la compression ait été faite avec stase veineuse ou avec anémie complète.

Ainsi, la compression avec stase ou avec anémie provoque la constitution progressive d'une paralysie complète avec anesthésie, s'accompagnant de sensations subjectives qui commencent par être des fourmillements, puis deviennent des sensations douloureuses très pénibles. Après la décompression, tout rentre dans l'ordre progressivement. Le moment même de la décompression est marqué par l'apparition immédiate d'une coloration rouge vif de la peau et de fourmillements très intenses, avec disparition des sensations douloureuses. La motilité volontaire et la sensibilité objective reparaissent très vite. Tout rentre dans l'ordre en 15 à 20 minutes.

Je me propose de faire, avec H. Laugier, l'analyse détaillée des modifications des diverses sensibilités au cours de la compression et de la décompression, en utilisant tous les procédés modernes d'examen des diverses sensibilités, y compris l'étude de la chronaxie des nerfs sensitifs. La compression constitue, en effet, un moyen simple et sans danger de produire des modifications importantes et réversibles de la sensibilité chez l'homme, sur qui, seul, l'étude des phénomènes subjectifs est possible. Cette étude détaillée semble présenter le plus grand intérêt, tant au point de vue de la physiologie et de la psychologie expérimentale qu'à celui de la pathologie du système nerveux.

Les phénomènes que je viens de décrire ne sont que les phénomènes grossiers qui jalonnent l'expérience.

B. — Évolution de l'excitabilité des nerfs et muscles sous-jacents à la compression.

La marche de l'excitabilité a été suivie pendant la compression et après la décompression, sur le nerf, sur le point moteur musculaire et par excitation longitudinale.

1^o **Nerf** (voir les fig. 37 et 38). — Sur le nerf, les phénomènes sont les mêmes dans les expériences de compression sans bande d'Esmarck (stase veineuse) et avec bande d'Esmarck (anémie). La seule différence est que l'évolution est plus rapide, aussi bien pendant la compression qu'après la décompression, dans l'anémie que dans la stase.

a) *Pendant la compression.* — Pendant la compression, la chro-

naxie diminue et la rhéobase augmente jusqu'à ce que le muscle devienne [inexcitable par le nerf avec une intensité de 15 mA, limite de l'intensité supportable, ce qui arrive à peu près au moment où la paralysie est complète. Dans la stase, l'inexcitabilité arrive entre la 25^e et la 30^e minute, tandis que, dans l'anémie, elle se produit vers la 15^e minute. La chronaxie diminue jusqu'à environ la moitié de sa valeur initiale. La rhéobase atteint environ 3 fois sa valeur initiale. Ces variations sont les mêmes dans les deux modes d'expérimentation, mais un peu plus grandes avec la bande d'Esmarck (anémie) que sans la bande d'Esmarck (stase).

Pendant la compression, la contraction du muscle par excitation du nerf ne se modifie pas dans sa forme.

b) *Après la décompression.* — Lorsqu'on prend la mesure de l'excitabilité aussi près que possible du moment de la décompression, on trouve une chronaxie très voisine de celle à laquelle on était arrivé immédiatement avant l'inexcitabilité, c'est-à-dire une très petite chronaxie. La rhéobase, au même moment, est grande.

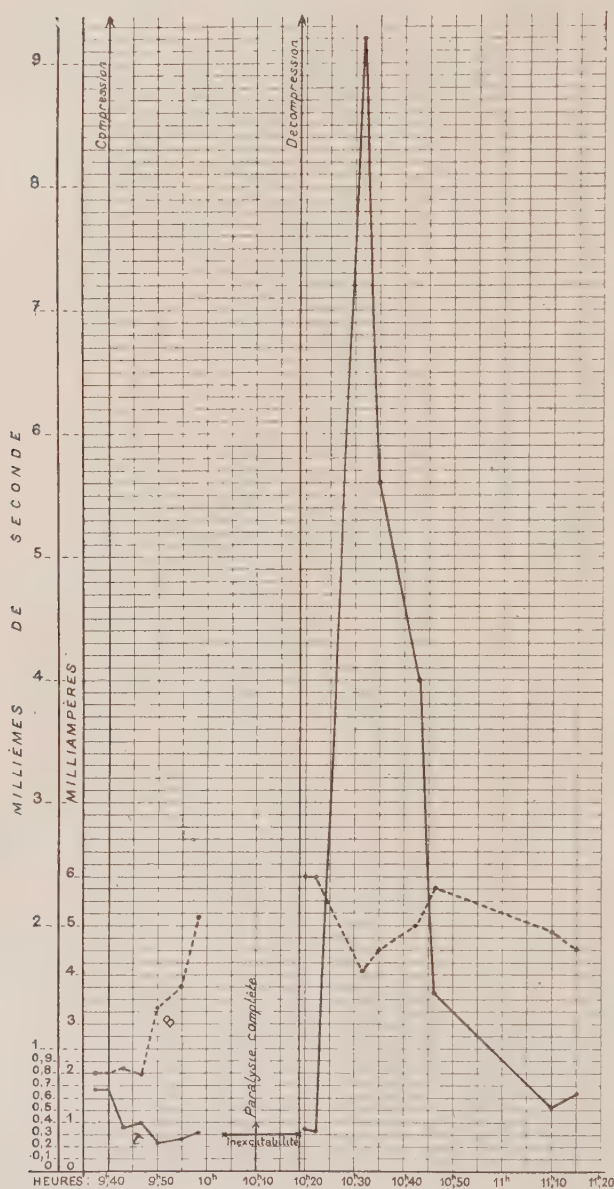
Puis, rapidement, la chronaxie augmente, pendant que la rhéobase diminue. La chronaxie maxima et la rhéobase minima sont atteintes en 15 à 25 minutes. La chronaxie augmente plus ou moins suivant les expériences, mais toujours très notablement, de 9 à 14 fois la valeur normale. La rhéobase part aussi d'une valeur très voisine de celle qu'elle avait immédiatement avant l'inexcitabilité; elle diminue pendant que la chronaxie augmente, mais elle reste plus grande qu'elle n'était avant le début de l'expérience.

Après avoir augmenté, la chronaxie diminue rapidement pendant que la rhéobase suit des variations inverses. Environ 15 à 30 minutes après que la chronaxie a atteint sa valeur maxima, elle est revenue à sa valeur normale. L'évolution totale du phénomène dure donc de 30 à 50 minutes; elle est plus rapide dans l'anémie que dans la stase: il y a donc parallélisme entre l'évolution de la chronaxie et celle des autres phénomènes que j'ai étudiés succinctement.

Quant à la rhéobase, l'expérience n'a pas été suivie suffisamment longtemps pour la voir revenir à sa valeur normale. Dans une expérience, que je rapporte ci-dessous en détail, j'ai mesuré l'excitabilité 24 heures après l'expérience: j'ai retrouvé, non seulement la chronaxie normale, mais aussi la rhéobase normale.

Pendant que la chronaxie augmente, la contraction se modifie: vive encore au moment de la décompression, elle devient peu à peu lente et galvanotonique; elle se modifie en sens inverse pendant le retour de la chronaxie à sa valeur normale et reprend peu à peu sa forme normale.

On assiste donc, pendant la compression, à une véritable *curarisation*: l'excitabilité indirecte par le nerf est supprimée, pendant que

FIG. 37¹. — NERF.

Compression avec stase.

Nerf radial gauche. — Seuils de l'Ext. propre de l'index.

Expérience du 12 mars 1920.

1. Dans toutes les figures, B désigne la Rhéohase et τ la chronaxie.

l'excitabilité directe du muscle se conserve, ainsi qu'il ressort des expériences sur le point moteur et par excitation longitudinale.

Après la décompression, on assiste à l'apparition et à la disparition d'un syndrome analogue à celui de la *réaction de dégénérescence*, qui présente ce caractère rare de s'observer par excitation nerveuse. Il est remarquable de voir la chronaxie augmenter considérablement sur le nerf, alors que, dans les interventions expérimentales portées sur ce tissu, on observe généralement la diminution de la chronaxie, sauf dans les expériences d'élongation progressive du nerf¹ et dans le cathélectrotonus². En pathologie humaine, dans la réaction de dégénérescence partielle³, on peut observer une augmentation de la chronaxie du nerf, mais, le plus souvent, elle ne dépasse pas 2 à 5 fois la valeur normale, et la contraction du muscle par excitation du nerf reste vive. Ce n'est que dans quelques cas particuliers, que j'ai étudiés précédemment, qu'on observe une contraction lente par le nerf avec chronaxie très grande (10 à 20 fois la normale) sur le nerf.

On réalise donc ainsi, par une intervention expérimentale réversible, une modification de l'excitabilité du nerf que, jusqu'à présent, n'avaient réalisée que des lésions mécaniques du nerf, soit en pathologie humaine, soit en physiologie expérimentale, et le cathélectrotonus.

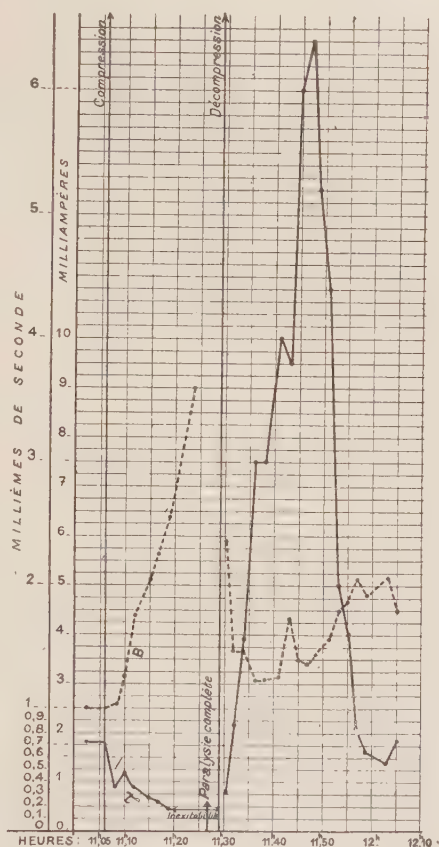


FIG. 38. — NERF.

Compression avec anémie.

Nerf radial gauche.

Seuils de l'Ext. propre de l'index.

Expérience du 24 mars 1922.

1. L. LAPICQUE et H. LAUGIER. Modifications dans l'excitabilité du nerf par une striction progressive. *C. R. Soc. de Biologie*, LIX, 46, 1910.

2. H. CARDOT et H. LAUGIER. Variation des paramètres caractéristiques de l'excitabilité des nerfs sous l'influence de l'électrotonus, *Biol. LXXVI*, 249, 1914.

3. G. BOURGUIGNON. *Acad. des Sciences*, 30 mai 1921, *Soc. Electr. et Rad.*, juin 1921, p. 168.

C'est au moment où le sang revient, où la circulation se rétablit, que se produisent ces intéressantes modifications du nerf. Le mécanisme intime de ces modifications n'est pas connu; seule l'expérimentation sur l'animal permettra de choisir entre les diverses hypothèses qui se présentent à l'esprit.

Expériences. — Voici les mesures de deux expériences (voir fig. 37 et 38) prises parmi les 7 faites sur le nerf (6 expériences avec stase et 1 expérience avec anémie) qui, toutes, ont donné des résultats comparables.

Dans toutes les expériences, les conditions de l'étude de l'excitabilité ont été les mêmes :

Résistance du circuit = 41 000 ω .

Méthode monopolaire. — Électrodes inpolarisables (Ag et Ag Cl).

— Petite électrode n° 2.

I. — **Stase.** (Compression sans bande d'Esmarck.)

Expérience du 12 mars 1920. — Compression au bras gauche : P = 24 cm. — Durée de la compression = 39 minutes.

Nerf radial gauche, pour l'extenseur propre de l'index
(voir fig. 37).

TEMPS	RHEOBASE EN MILLIAMPÈRES	CHRONAXIE EN 1/1000 DE SECONDE	PHÉNOMÈNES GÉNÉRAUX
Avant la compression . .	2 mA	0 σ ,68	
Compression à 9 h. 40.			
3' après le début de la compression.	2 mA,1	0 σ ,36	
7' — — —	2 mA	0 σ ,40	
10' — — —	3 mA,3	0 σ ,24	
15' — — —	3 mA,8	0 σ ,28	
18' — — —	5 mA,2	0 σ ,31	
24' — — —	Inexcitabilité avec 45 mA		Paralysie complète.
Décompression à la			
39 ^e minute à 10 h. 49.			
1' après la décompress.	6 mA	0 σ ,34	Contraction normale.
3' — — —	6 mA	0 σ ,32	Contraction normale.
13' — — —	4 mA,1	9 σ ,20	Contraction lente.
16' — — —	4 mA,5	5 σ ,60	Contraction lente.
24' — — —	5 mA	4 σ	Contraction moins lente.
27' — — —	5 mA,8	1 σ ,46	
48' — — —	4 mA,9	0 σ ,52	Contraction normale.
53' — — —	4 mA,8	0 σ ,64	Contraction normale.

L'expérience a été arrêtée là : la chronaxie est normale ; la rhéobase est encore un peu grande. L'excitabilité a été mesurée de nouveau 24 heures après; tout était normal : B = 2 mA,2 τ = 0 σ ,68.

II. — Anémie. (Compression avec bande d'Esmarck).

Expérience du 24 mars 1922. — Compression au bras gauche :
 $P = 21$ cm. à 22 cm. — Durée de la compression = 29 minutes.

Même nerf pour le même muscle (voir fig. 38.)

TEMPS	RHÉOBASE EN VILLIAMPÈRES	CHRONAXIE EN 1/1000 DE SECONDE	PHÉNOMÈNES GÉNÉRAUX
Avant la compression.	2mA,4	0σ,72	
Compression à 11 h. 6.			
2' après le début de la compression.	2mA,6	0σ,36	
4' — — —	3mA,2	0σ,48	
6' — — —	4mA,4	0σ,36	
9' — — —	5mA,1	0σ,28	
11' — — —	5mA,6	0σ,24	
13' — — —	6mA,4	0σ,19	
18' — — —	Inexcitabilité avec 10mA		Début de la paralysie et des douleurs osseuses.
21' — — —			Paralysie presque compl. Paralysie complète.
Décompression à la 23 ^e minute à 11 h. 29.			
2' après la décompress.	5mA,9	0σ,32	
4' — — —	3mA,7	0σ,88	Contraction lente.
6' — — —	3mA,7	1σ,56	Contraction lente.
8' — — —	3mA,1	3σ	Contraction lente.
10' — — —	3mA,1	3σ	Contraction moins lente.
13' — — —	3mA,2	4σ	Mouvements volontaires de plus en plus norm.
15' — — —	4mA,3	3σ,80	Contraction lente.
17' — — —	3mA,6	6σ	Contraction lente.
19' — — —	3mA,4	6σ,40	Contraction lente.
21' — — —	3mA,6	5σ,20	Contraction lente.
23' — — —	3mA,9	4σ,40	Contraction encore lente.
25' — — —	4mA,5	2σ	
27' — — —	4mA,7	1σ,60	
29' — — —	5mA,2	0σ,84	Contraction plus vive.
31' — — —	4mA,8	0σ,64	Contraction normale.
35' — — —	5mA,3	0σ,56	Contraction normale.
37' — — —	4mA,5	0σ,72	Contraction normale.

2° Point moteur du muscle (voir les fig. 39, 40 et 41). — a) *Pendant la compression.* — Au point moteur, les phénomènes présentent quelques différences, suivant qu'on fait la compression sans application préalable de la bande d'Esmarck (stase veineuse) ou avec application préalable de la bande d'Esmarck (anémie).

1. STASE VEINEUSE. — Dans ce premier cas, les phénomènes sont moins réguliers que dans celui de l'anémie. Il arrive quelquefois qu'on observe des oscillations tantôt en plus, tantôt en moins, au

cours de la compression, avec des alternatives de contractions vives et de contractions lentes. Le plus souvent, on n'observe pas ces variations, et il ressort des expériences régulières que, pendant la compression avec stase, la chronaxie du point moteur augmente légèrement et la rhéobase ne varie pas ou très peu, avec tendance à augmenter. La chronaxie commence à augmenter au bout de 10 minutes environ et augmente d'une manière continue pendant toute la durée de la compression.

En somme, au point moteur, on observe, pendant la compression, une variation de sens opposé à celle du nerf au même moment et de même sens, à un degré moindre, que celle qu'on observe sur le nerf après la décompression. A aucun moment de la compression, on n'observe d'inexcitabilité du point moteur.

L'augmentation de la chronaxie du point moteur, qui s'accompagne d'un léger ralentissement de la décontraction, ne dépasse pas 3 à 4 fois la valeur normale.

Les irrégularités peuvent s'expliquer de différentes manières et peut-être par le double point moteur et la double chronaxie des extenseurs, qui n'étaient pas connus au moment où ces expériences ont été faites et que j'ai signalés depuis¹.

2. ANÉMIE. — Dans les expériences avec la bande d'Esmarck, nous avons tenu compte de l'existence des deux points moteurs, de chronaxie différente, des extenseurs, et nous avons suivi la marche de la chronaxie sur chacun de ces deux points, bien exactement déterminés.

Aux valeurs absolues près, les phénomènes ont été exactement les mêmes sur l'un et l'autre point moteur. Pendant la compression, après application de la bande d'Esmarck, la chronaxie et la rhéobase des points moteurs évoluent parallèlement à celles du nerf, c'est-à-dire que la chronaxie diminue jusqu'à environ la moitié de sa valeur initiale et la rhéobase augmente jusqu'à environ 1 fois 1/2 à 2 fois sa valeur initiale, valeurs qui, une fois atteintes, ne changent plus pendant toute la durée de la compression. La variation de la chronaxie est donc la même que sur le nerf, mais la rhéobase varie un peu moins.

Les points moteurs restent excitables pendant toute la durée de la compression, comme dans la stase.

b) *Après la décompression.* — Qu'on étudie le point moteur supérieur ou le point moteur inférieur, que la compression ait été faite avec anémie ou avec stase veineuse, la chronaxie, après la décompression, augmente comme sur le nerf, en atteignant des valeurs du même ordre de grandeur, puis diminue, pour revenir à la normale.

La rhéobase varie en sens inverse de la chronaxie, comme sur le nerf, mais un peu moins que sur le nerf.

1. G. BOURGUIGNON, *loc. cit.*

Aussitôt après la décompression, dans l'anémie comme dans la stase, la chronaxie et la rhéobase ont des valeurs très voisines de celles qu'elles avaient immédiatement avant la décompression.

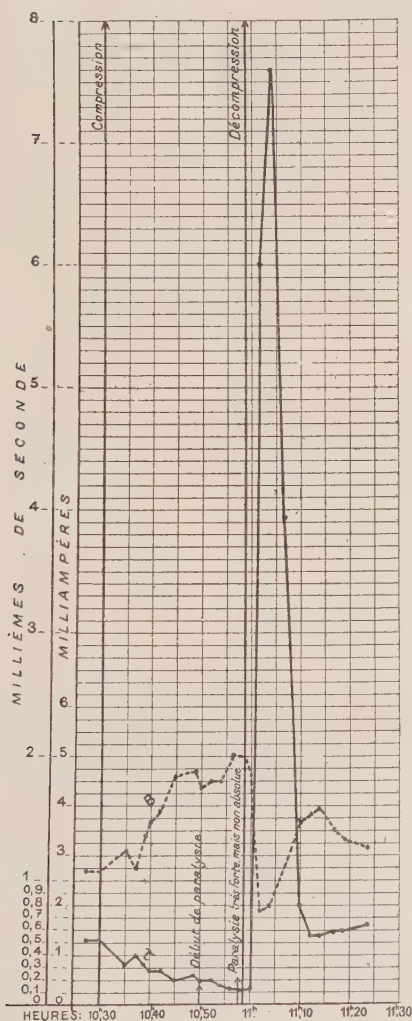


FIG. 40. — COMPRESSION AVEC ANÉMIE.

Point moteur supérieur.

Extenseur propre de l'index gauche.

Expérience du 17 mars 1922.

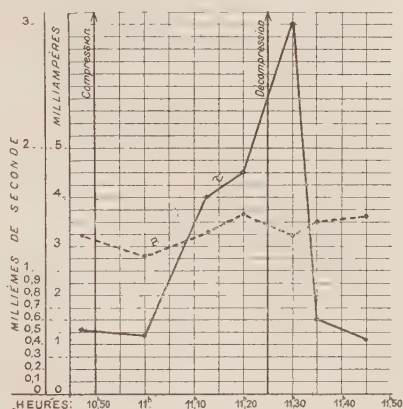


FIG. 39.

COMPRESSION AVEC STASE.

Point moteur.

Extenseur commun gauche
(faisceau du 3^e doigt).

Expérience du 9 février 1920.

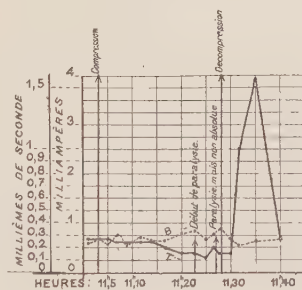


FIG. 41. — COMPRESSION
AVEC ANÉMIE.

Point moteur inférieur. Extenseur
propre de l'index gauche.

Expérience du 3 mars 1922.

L'augmentation de la chronaxie commence environ 3 à 4 minutes après la décompression, atteint son maximum 5 à 7 minutes après la

décompression et est revenue à la normale environ 15 à 20 minutes après la décompression.

L'évolution du phénomène est donc de même sens, mais plus rapide sur le point moteur que sur le nerf.

Quant à la contraction, elle se ralentit pendant l'augmentation de la chronaxie et reprend sa vivacité normale quand la chronaxie diminue.

Expériences. — Voici les mesures de trois expériences sur le point moteur (voir fig. 39, 40 et 41).

I. — **Stase.** (Compression sans bande d'Esmarck.)

Expérience du 9 février 1920. — Compression au bras gauche : P = 24 cm. — Durée de la compression = 35 minutes.

Point moteur supérieur de l'extenseur commun gauche, faisceau du 3^e doigt (voir fig. 39).

TENPS	RHÉOBASE EN MILLIAMPÈRES	CHRONAXIE EN 1/1000 DE SECONDE	PHÉNOMÈNES GÉNÉRAUX
Avant la compression .	3mA,2	0σ,52	
Compression à 10 h. 50.			
2' après le début de la compression.			Sensation de tiédeur. Légère pâleur de la peau.
3' — — —			Fourmillements légers.
7' — — —			Pression donne forte sensation de chaleur.
10' — — —	2mA,8	0σ,42	
16' — — —			Sensation de froid.
19' — — —			Pression donne sensation de brûlure.
23' — — —	3mA,3	1σ,60	Paralysie débutante.
30' — — —	3mA,6	1σ,80	Paralysie complète. Douleurs.
Décompression à la 35 ^e minute à 11 h. 25.			Rougeur vive de la peau.
1' après le début de la décompression.			Mouvements reparaissent
			Fourmillements. Chocs donnent sensation vibration.
5' — — —	3mA,2	3σ	
10' — — —	3mA,5	0σ,60	
20' — — —	3mA,6	0σ,44	

II. — Anémie. (Compression avec bande d'Esmarck.)

Expérience du 17 mars 1922. — Compression au bras gauche :
= 20 cm. à 21 cm. — Durée de la compression = 29 minutes.

Point moteur supérieur de l'extenseur propre de l'index gauche
(voir fig. 40).

TEMPS	RHÉOBASE EN MILLIAMPÈRES	CHRONAXIE EN 1/1000 DE SECONDE	PHÉNOMÈNES GÉNÉRAUX
Compression à 10 h. 30. 5' après le début de la compression.	3 mA, 1	0 σ, 32	
7' — —	2 mA, 75	0 σ, 40	
9' — —	3 mA, 4	0 σ, 32	
10' — —	3 mA, 7	0 σ, 28	Sensation de chaleur avec douleur osseuse prof.
12' — —	3 mA, 9	0 σ, 28	
15' — —	4 mA, 6	0 σ, 20	
18' — —	4 mA, 7	0 σ, 24	Anesthésie de l'extrémité des doigts.
20' — —	4 mA, 4	0 σ, 20	Début de paralysie.
22' — —	4 mA, 5	0 σ, 20	
24' — —	4 mA, 5	0 σ, 16	Paralysie augmentée.
26' — —	4 mA, 5	0 σ, 15	
28' — —	5 mA	0 σ, 12	Paralysie complète, sauf quelques petits mouve- ments de relèvement du poignet.
Décompression à la 29 ^e minute, à 10 h. 59.			
1' après la décompress.	4 mA, 6	0 σ, 12	
3' — —	1 mA, 9	6 σ	Ralentissement de la dé- contraction.
5' — —	2 mA	7 σ, 60	Contraction lente.
8' — —	2 mA, 8	3 σ, 92	Paralysie disparue.
11' — —	3 mA, 7	0 σ, 80	Lenteur diminuée.
13' — —	3 mA, 8	0 σ, 56	
15' — —	3 mA, 9	0 σ, 56	Contraction vive.
18' — —	3 mA, 5	0 σ, 60	
20' — —	3 mA, 3	0 σ, 60	
23' — —	3 mA, 8	0 σ, 68	
25' — —	3 mA, 2	0 σ, 64	

Expérience du 3 mars 1922. — Compression au bras gauche :
P = 21 cm. — Durée de la compression = 25 minutes.

**Point moteur inférieur de l'extenseur propre
de l'index gauche (voir fig. 41).**

TEMPS	RHÉOBASE EN MILLIMÈRES	CHRONAXIE EN 1/1000 DE SECONDE	PHÉNOMÈNES GÉNÉRAUX
Avant la compression. .	2mA,5	0σ,28	
Compression à 11 h. 3.			
Moins d'1' après le début de la compression. . .	2mA,8	0σ,28	Peau très blanche.
2' après le début de la compression.	2mA,4	0σ,28	Sensation de chaleur et fourmillements.
4' — —	3mA	0σ,24	
6' — —	2mA,3	0σ,24	
9' — —	2mA,9	0σ,24	
11' — —	2mA,4	0σ,24	Sensation de chaleur. Fourmillements dispar.
14' — —	2mA,5	0σ,20	
17' — —	3mA,7	0σ,16	Douleurs dif. et profond.
20' — —	3mA,2	0σ,16	Début de paralysie.
22' — —	2mA,8	0σ,12	Paralysie augmente.
24' — —	3mA,1	0σ,20	Paralysie presque comp.
25' — —	3mA,45	0σ,16	Paralysie presque comp.
Décompression à 11 h. 28.			
Moins d'1' après la der- nière mesure.			Coloration saumon vif de la peau.
2' après la décompress.	2mA,8	0σ,16	
4' — —	2mA,2	1σ,04	Contraction ralentie.
7' — —	2mA,5	2σ,48	Contraction ralentie.
12' — —	2mA,8	0σ,28	Contraction vive. Para- lysie complètement dis- sipée. Coloration nor- male de la peau.

3° Excitation longitudinale (voir fig. 42, 43 et 44). — C'est en faisant ces expériences que je me suis aperçu que, en excitation longitudinale, il suffit de changer le sens du courant pour exciter l'un ou l'autre des deux groupes de fibres des extenseurs; je me suis appuyé sur ce fait pour supposer que, en excitation longitudinale, à l'état normal, on excite encore, à distance, le point d'épanouissement des branches nerveuses, c'est-à-dire qu'on fait une excitation nerveuse.

C'est lorsque la petite électrode est négative (NF) que l'on trouve la chronaxie la plus grande (0σ,44 à 0σ,72 : point moteur supérieur) et lorsque la petite électrode est positive (NF), qu'on trouve la chronaxie la plus petite (0σ,20 à 0σ,56, point moteur inférieur). Mais il suffit d'un léger déplacement de l'électrode, pour trouver l'inverse. On comprend donc que nous ayons observé quelques irrégularités dans les expériences en excitation longitudinale.

Dans les expériences avec stase, nous n'avons suivi la chronaxie par excitation longitudinale qu'avec le pôle négatif (NF). Au contraire, dans les expériences avec anémie, nous avons suivi la chronaxie avec les deux pôles (NF et N'F).

a) *Pendant la compression.* — Pendant la compression, la marche de la chronaxie est la même dans la compression avec stase (sans application de la bande d'Esmarck) et dans la compression avec anémie (avec application de la bande d'Esmarck). Les phénomènes évoluent parallèlement sur les fibres de grande chronaxie (NF) et sur celle de petite chronaxie (N'F), mais les variations sont plus importantes pour les premières que pour les secondes. D'autre part, comme je l'ai déjà dit pour tous les autres phénomènes, l'évolution est plus rapide dans l'anémie que dans la stase.

1. STASE VEINEUSE. — Dans la stase veineuse (voir fig. 42), la chronaxie commence à augmenter au bout de 7 à 8 minutes. Cette augmentation atteint son maximum vers la 23^e à la 25^e minute; si l'on se reporte aux expériences sur le nerf, on voit que c'est précisément le moment où le muscle devient inexcitable par le nerf avec 15 m. A.

Cette augmentation de la chronaxie par excitation longitudinale varie d'une expérience à l'autre et n'atteint pas, en général, les valeurs que l'on observe après la décompression. Elle oscille entre 1 fois 1/2 et 4 ou 5 fois la valeur initiale. En même temps, la contraction se ralentit légèrement.

A partir de la 23^e à la 25^e minute, la chronaxie diminue et revient à sa valeur initiale ou même devient plus petite et reste ainsi diminuée jusqu'à la décompression, c'est-à-dire pendant tout le temps que le muscle est inexcitable par le nerf avec l'intensité maxima supportable.

La rhéobase ne présente que des variations légères, mais qui, dans l'ensemble, sont de sens inverse de celles de la chronaxie.

2. ANÉMIE. — Dans l'anémie (voir fig. 43 et 44), la chronaxie suit la même évolution que dans la stase pendant la compression, mais la période d'augmentation de la chronaxie dure moins longtemps et ne dépasse pas la 18^e minute : c'est donc encore au moment où l'inexcitabilité du muscle par le nerf apparaît, que l'augmentation de la chronaxie par excitation longitudinale prend fin. A partir du moment où l'excitation indirecte a disparu, la chronaxie par excitation longitudinale revient à sa valeur initiale, puis prend une valeur inférieure et la garde jusqu'à la décompression. L'évolution est de même sens pour la grande chronaxie qu'on trouve avec le pôle négatif (NF) et pour la petite chronaxie qu'on trouve avec le pôle positif (N'F).

Dans l'une des deux expériences avec anémie, que je rapporte ci-

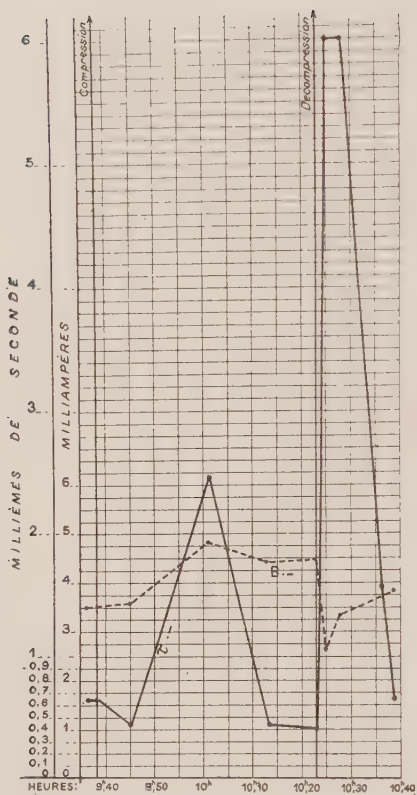


FIG. 42. — COMPRESSION AVEC STASE.
Excitation longitudinale (NF).
Extenseur propre de l'index gauche.
Expérience du 16 juin 1922.

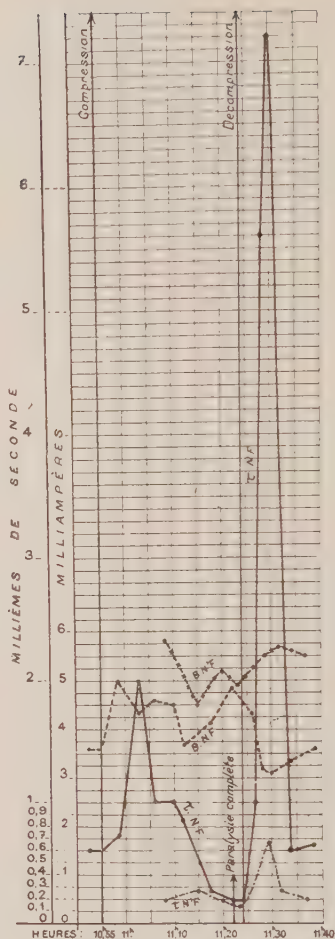


FIG. 43. — COMPRESSION AVEC ANÉMIE.
Excitation longitudinale (NF et N'F).
Extenseur propre de l'index gauche.
Expérience du 5 mai 1922.

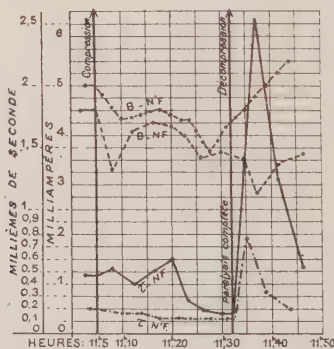


FIG. 44. — COMPRESSION AVEC ANÉMIE.
Excitation longitudinale (NF et N'F). Extenseur propre de l'index gauche.
Expérience du 19 mai 1922.

dessous, l'augmentation de la chronaxie avec NF a été égale à celle qu'on observe dans la stase : l'augmentation de la chronaxie avec NF est appréciable sur la courbe. Dans l'autre expérience, l'augmentation de la chronaxie avec NF a été moindre : elle n'est pas appréciable dans la mesure avec NF ; la 2^e phase de l'évolution pendant la compression (diminution de la chronaxie) est, au contraire, nette dans tous les cas.

La rhéobase suit sensiblement une évolution inverse de celle de la chronaxie.

Ainsi, par excitation longitudinale, on observe pendant la compression deux phases : 1^o dans la première phase, la chronaxie augmente, dans l'anémie, comme dans la stase ; elle varie en sens inverse de la chronaxie du nerf ; 2^o dans la deuxième phase, la chronaxie diminue, dans l'anémie comme dans la stase ; cette phase correspond à l'inexcitabilité par le nerf.

A aucun moment de la compression, l'excitabilité par excitation longitudinale ne disparaît.

b) *Après la décompression.* — Après la décompression, l'évolution est la même pour l'excitabilité par excitation longitudinale que pour l'excitabilité du nerf et du point moteur.

Dans la stase et dans l'anémie, avec NF comme avec NF, la chronaxie augmente rapidement pour atteindre une valeur égale à 4 à 15 fois la valeur initiale en 2 à 5 minutes, après quoi, la chronaxie diminue rapidement jusqu'à revenir à sa valeur normale. L'évolution totale de la chronaxie après la décompression dure de 10 à 20 minutes. Elle est plus rapide dans l'anémie que dans la stase. Elle est aussi beaucoup plus rapide dans l'excitation longitudinale que sur le nerf et de même durée sensiblement que sur le point moteur.

La rhéobase suit une évolution inverse de la chronaxie ; mais ici encore, comme pendant la compression, les variations de la rhéobase dans l'excitation longitudinale sont moindres que sur le nerf.

En somme, après la décompression, l'évolution est parallèle sur le nerf, sur le point moteur et par excitation longitudinale, mais elle est de plus longue durée sur le nerf que sur le muscle.

Expériences. — Voici les mesures de trois expériences par excitation longitudinale (voir fig. 42, 43 et 44).

I. Stase (compression sans bande d'Esmarck) (voir fig. 42).

Expérience du 16 juin 1922. — Compression au bras gauche. —

P = 22 cm.

Durée de la compression = 45 minutes.

Excitation longitudinale. Extenseur propre de l'index gauche.

TEMPS	RHÉOBASE	CHRONAXIE	PHÉNOMÈNES GÉNÉRAUX
Avant la compression . . .	3 mA,5	0 σ,60	
Compression à 9 h. 38.			
7' après le début de la compression.	3 mA,6	0 σ,44	
23'	4 mA,8	2 σ,48	Ralentissement de la décontraction.
35'	4 mA,45	0 σ,44	
Décompression à 10 h. 23 à la 45 ^e minute.			Contraction vive. — Paralyse complète.
2' après la décompression	2 mA,7	6 σ	Contraction lente.
5'	3 mA,3	6 σ	Contraction lente.
13'	3 mA,7	1 σ,56	La contraction devient vive.
16'	3 mA,8	0 σ,68	

II. Anémie (compression avec bande d'Esmarck).a) *Expérience du 5 mai 1922.* — Compression au bras gauche.

P = 22 cm. — Durée de la compression = 29 minutes.

Excitation longitudinale. Extenseur propre de l'index gauche.

TEMPS	NF		NF		PHÉNOMÈNES GÉNÉRAUX
	RHÉOBASE	σ	RHÉOBASE	σ	
Avant la compression . . .	3 mA,6	0 σ,60			
Compression à 10 h. 55.					
4' après le début de la compression.	4 mA,9	0 σ,72			
8'	4 mA,3	2 σ			
11'	4 mA,6	1 σ,08			
13'			5 mA,8	0 σ,20	
15'	4 mA,5	1 σ,08			
17'	3 mA,7	0 σ,84			
20'			4 mA,5	0 σ,28	
23'	4 mA,2	0 σ,28			
25'			5 mA,2	0 σ,20	Forte parésie. Paralyse complète.
27'	4 mA,8	0 σ,20			
29'			4 mA,9	0 σ,16	
Décompression à 11 h. 24 moins d'1' après la dernière mesure.					
2' après la décompression	4 mA,3	1 σ,12			
4'	3 mA,2	5 σ,60			Contraction lente
5'			5 mA,5	0 σ,68	Contract. assez vive
6'	3 mA,4	7 σ,20			Contraction lente
8'			5 mA,6	0 σ,28	Contraction vive
10'	3 mA,3	0 σ,60			Contraction vive
13'			5 mA,5	0 σ,20	Contraction vive
15'	3 mA,6	0 σ,64			Contraction vive

b) *Expérience du 19 mai 1922.* — Compression au bras gauche (avec bande d'Esmarck). — P = 21 cm à 22 cm. — Durée de la compression = 27 minutes.

Excitation longitudinale. Extenseur propre de l'index gauche.

TEMPS	NF		NF		PHÉNOMÈNES GÉNÉRAUX
	RHEOBASE	τ	RHEOBASE	τ	
Avant la compression . . .	4 mA	0 σ ,48	5 mA	0 σ ,20	
Compression à 11 h.					
3' après le début de la compression.	3 mA,3	0 σ ,52			
5'			4 mA,3	0 σ ,16	
7'	4 mA,1	0 σ ,40			
9'			4 mA,4	0 σ ,16	
11'	4 mA,25	0 σ ,52			
13'			5 mA,5	0 σ ,12	
15'	4 mA,2	0 σ ,60			
17'			4 mA,3	0 σ ,12	
18'	4 mA	0 σ ,28			
19'			4 mA,3	0 σ ,12	
21'	3 mA,55	0 σ ,20			
23'			3 mA,7	0 σ ,12	
25'	3 mA,7	0 σ ,16			
27'			4 mA,2	0 σ ,12	
Décompression à 11 h. 32					
moins d'1' après la dernière mesure.					
2' après la décompression	3 mA,5	1 σ ,40			
3'			4 mA,5	0 σ ,76	
5'	2 mA,8	2 σ ,52			Contraction ralentie
7'			5 mA	0 σ ,32	
9'	3 mA,4	1 σ ,24			
12'			5 mA,5	0 σ ,20	
13'	3 mA,6	0 σ ,52			

C. — Modifications expérimentales de l'excitabilité par répercussion réflexe¹.

Dans les expériences que je viens d'exposer, j'ai étudié les modifications de l'excitabilité des nerfs et muscles sous-jacents à la compression, soumis aux effets de la stase ou de l'anémie. Il s'agit donc de modifications de la chronaxie périphérique par action directe sur le nerf et sur le muscle, comme lorsque la chronaxie du nerf ou du

1. G. BOURGUIGNON et H. LAUGIER, *C. R. Soc. de Biol.*, t. LXXXVIII, p. 265, 3 février 1923.

muscle se modifient sous l'action de facteurs variés tels que la température, les sels, les poisons, les lésions.

Mais la chronaxie d'un neurone peut-elle être modifiée passagèrement par l'action d'un autre neurone? Cette question est des plus importantes au point de vue de la théorie générale du fonctionnement du système nerveux, qui, d'après les recherches récentes, paraît bien reposer sur le rapport des chronaxies des différents neurones, sur l'équilibre de ces chronaxies.

Déjà, en pathologie humaine, j'avais montré que toute lésion d'un nerf peut entraîner des modifications d'excitabilité dans les nerfs et muscles de même chronaxie du même côté et du côté opposé, par une véritable *répercussion réflexe*¹. Le fait est surtout facile à mettre en évidence dans les lésions traumatiques produisant soit la section, soit la compression d'un nerf, comme je l'ai exposé précédemment.

Nous avons vu que cette action de neurone à neurone se retrouve dans les lésions de n'importe quel neurone, de sorte qu'on peut dire que toute lésion d'un neurone quelconque retentit sur la chronaxie des nerfs moteurs et des muscles qui lui sont fonctionnellement associés. Je rappelle qu'on observe des modifications de la chronaxie des nerfs moteurs et des muscles par voie nerveuse, dans les lésions du neurone sensitif périphérique (tabes, zona, névralgies), du faisceau pyramidal (hémiplégies, paraplégies), des corps opto-striés (syndromes parkinsoniens, maladie de Wilson, etc.)².

Il était donc du plus haut intérêt de rechercher si la modification passagère et réversible de l'excitabilité que l'on produit dans les expériences de compression pouvait aussi se répercuter à distance, comme le fait une lésion de longue durée, par l'intermédiaire des centres nerveux.

L'expérience a montré qu'il en est bien ainsi dans l'anémie et dans la stase.

Récemment d'ailleurs, en physiologie animale, chez la grenouille, Mme Lapique vient de montrer de son côté que la chronaxie des nerfs périphériques se modifie sous l'action des centres encéphaliques³.

Dans deux expériences, j'ai suivi l'excitabilité du point moteur du muscle transverse du nez, à *droite*, pendant la compression avec *anémie* au bras *gauche*. Dans une troisième expérience, j'ai suivi l'excitabilité du nerf radial et du point moteur de l'extenseur propre de l'index à *droite*, pendant la compression avec *stase* au bras *gauche*. J'ai observé des modifications dans tous les cas, mais les résultats ont été plus nets dans la compression avec anémie que dans la compression avec stase.

1. G. BOURGUIGNON, *loc. cit.*

2. G. BOURGUIGNON, *loc. cit.*

3. Marcelle LAPIQUE. Action des centres encéphaliques sur la chronaxie des nerfs moteurs. *C. R. de la Soc. de Biol.*, t. LXXXVIII, 13 janvier 1923.

Il est à remarquer qu'il n'y a aucun trouble appréciable ni de la vaso-motricité, ni de la motilité, ni de la sensibilité des régions qui sont le siège des répercussions. Les modifications d'excitabilité sont le seul témoin de ces répercussions dont le sujet n'a aucunement conscience.

1^o Point moteur. — Lorsqu'on suit l'excitabilité du point moteur d'un muscle, en dehors du membre soumis à l'anémie ou à la stase, les phénomènes sont de même sens dans la stase et dans l'anémie, mais les variations sont plus importantes dans l'anémie que dans la stase.

a) *Pendant la compression.* — Pendant les 6 à 12 premières minutes de l'expérience, on n'observe aucune modification appréciable de l'excitabilité. Au bout de ce temps, plus rapidement dans l'anémie (6 et 8 minutes) que dans la stase (12 minutes), la chronaxie du point moteur commence à diminuer. En 5 à 8 minutes, la chronaxie atteint environ la moitié de sa valeur initiale dans l'anémie (voir fig. 45 et 46); dans la stase, la variation n'a pas dépassé le $\frac{1}{5}$ de la valeur initiale, et, sans les résultats des expériences avec anémie et la concordance de variations parallèles de la rhéobase du point moteur et de l'excitabilité du nerf (voir fig. 47), il n'y aurait eu qu'une forte présomption, mais non une preuve décisive de la répercussion. Cependant, en comparant la marche de l'excitabilité dans cette expérience avec les résultats de l'expérience d'immobilité que j'ai rapportée, il ne peut guère rester de doute sur la réalité de la répercussion.

Pour faciliter cette comparaison, j'ai reproduit dans la figure 48 le graphique de la figure 35. On voit nettement, dans l'expérience d'immobilité, que les oscillations de la chronaxie du nerf et du point moteur sont de même ordre, tandis que dans l'expérience de répercussion (voir fig. 47), la marche est inverse pour la chronaxie du nerf et pour celle du point moteur; le point moteur suit d'ailleurs la même évolution dans la stase que dans l'anémie (comparez la figure 47 avec les figures 45 et 46).

Dans la stase, comme dans l'anémie, la valeur minima de la chronaxie est atteinte au moment où la paralysie apparaît du côté comprimé.

A partir du moment où la chronaxie a atteint sa valeur minima (11 à 16 minutes après le début de la compression dans l'anémie et 25 minutes dans la stase), elle reste stationnaire jusqu'à la décompression.

Suivant les expériences, la rhéobase n'a pas présenté de variations ou a légèrement varié en sens inverse de la chronaxie.

b) *Après la décompression.* — Après la décompression, la chronaxie augmente rapidement et plus vite dans l'anémie que dans la stase.

En 10 à 15 minutes, elle atteint une valeur qui dépasse légèrement la valeur normale, mais représente une variation importante par rapport à la valeur qu'elle avait au moment de la décompression. Puis, la chronaxie oscille autour de la valeur normale pendant quelque temps avant de reprendre son équilibre normal. Ces phénomènes se produisent pendant les 20 ou 30 minutes qu'il faut pour que tout soit rentré dans l'ordre du côté qui a été comprimé.

Dans la stase, comme pour tout ce que j'ai étudié jusqu'ici, l'évolution est plus lente que dans l'anémie.

Sur le point moteur, l'évolution de la chronaxie reproduit donc, en petit, pendant la compression et après la décompression, ce qui se passe sur les nerfs soumis à l'anémie ou à la stase et sur les points moteurs soumis à l'anémie.

2° Nerf. — Nous n'avons étudié le nerf que dans la stase.

a) *Pendant la compression.* — Pendant la compression, l'évolution de la chronaxie du nerf est inverse de celle du point moteur (voir fig. 47) : ce fait est conforme à ce que j'ai observé dans les répercussions en pathologie humaine, dans lesquelles, le plus souvent, la chronaxie du point moteur et celle du nerf varient en sens inverse l'une de l'autre¹.

Le début de la variation de la chronaxie du nerf coïncide assez exactement avec le début de la variation de la chronaxie du point moteur. La chronaxie du nerf augmente constamment jusqu'à la décompression. La variation a été des $\frac{2}{5}$ de la valeur initiale.

La rhéobase, pendant le même temps, diminue d'une manière continue.

b) *Après la décompression.* — La chronaxie du nerf augmente jusqu'à atteindre environ 1 fois $\frac{1}{2}$ la valeur normale initiale, environ 17 à 18 minutes après la décompression. Ensuite, la chronaxie diminue lentement et est revenue à sa valeur normale 25 minutes après le début de la décompression.

La rhéobase suit une marche assez exactement inverse de celle de la chronaxie.

Dans toutes ces expériences, dans l'anémie comme dans la stase, il est remarquable que la répercussion est moins importante après la décompression que pendant la compression, contrairement à ce qui se passe dans le membre soumis à la compression. Ce fait met en évidence le rôle des centres nerveux dans la répercussion.

Expériences. — Voici les mesures et les courbes (voir fig. 45, 46 et 47) des expériences qui montrent ces phénomènes de répercussion dans la compression avec anémie et dans la compression avec stase.

1. G. BOURGUIGNON, *loc. cit.* et Soc. fr. d'Electrothérapie et de Radiologie. La chronaxie en pathologie, juillet 1922.

I. — Anémie.

a) *Expérience du 30 juin 1922* (voir fig. 45). — Compression au bras gauche, après application de la bande d'Esmarck. P = 21 cm. — Durée de la compression = 21 minutes.

Point moteur du transverse du nez, à droite.

TEMPS	POINT MOTEUR DU TRANSVERSE DU NEZ droit.		PHÉNOMÈNES CONCOMITANTS à gauche (COTÉ COMPRIMÉ)
	RHÉOBASE	CHRONAXIE	
Avant la compression.	1 mA,4	0 σ,64	
Début de la compression à 10 h. 58.			
2'	1 mA,6	0 σ,64	
4'	1 mA,6	0 σ,64	
6'	1 mA,55	0 σ,64	
8'	1 mA,5	0 σ,64	
12'			Sensation de froid.
14'	1 mA,4	0 σ,36	
16'	1 mA,1	0 σ,28	Début de parésie.
19'	1 mA,3	0 σ,32	
21'	1 mA,5	0 σ,28	Paralyse complète.
Décompression à la 21 ^e minute, à 11 h. 19.			
2'	1 mA,4	0 σ,36	
3'	1 mA,5	0 σ,40	
5'	1 mA,5	0 σ,56	
6'	1 mA,6	0 σ,52	
10'	1 mA,5	0 σ,56	
11'	1 mA,4	0 σ,72	
12'	1 mA,4	0 σ,52	
14'	1 mA,4	0 σ,60	
18'	1 mA,5	0 σ,48	
20'	1 mA,4	0 σ,60	
21'	1 mA,4	0 σ,52	
23'	1 mA,4	0 σ,52	
31'	1 mA,5	0 σ,68	

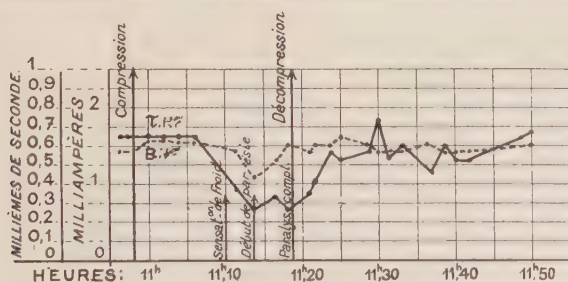


FIG. 45. — EXPÉRIENCE DE RÉPERCUSSION.

Compression avec anémie au bras gauche.
Point moteur du transverse du nez à droite.

Expérience du 30 juin 1922.

b) *Expérience du 29 novembre 1922* (voir fig. 46). — Compression au bras *gauche*, après application de la bande d'Esmarck. $P = 25$ cm.

Durée de la compression = 29 minutes.

Point moteur du transverse du nez, à droite.

TEMPS	POINT MOTEUR DU TRANSVERSE DU NEZ <i>droit</i> .	
	RHÉOBASE	CHRONAXIE
Avant la compression.	1 mA	0 σ,64
Début de la compression à 10 h. 54.		
2'	1 mA,2	0 σ,48
4'	1 mA,1	0 σ,44
6'	1 mA,2	0 σ,44
8'	1 mA,2	0 σ,36
10'	1 mA,1	0 σ,28
11'	1 mA,2	0 σ,28
12'	1 mA,2	0 σ,28
14'	1 mA,1	0 σ,28
16'	0 mA,8	0 σ,32
18'	0 mA,85	0 σ,28
20'	1 mA	0 σ,32
23'	1 mA	0 σ,28
26'	1 mA	0 σ,24
28'	0 mA,9	0 σ,44
Décompression à la 29 ^e minute, à 11 h. 23.		
2' après la décompression.	0 mA,9	0 σ,52
3'	0 mA,9	0 σ,56
5'	1 mA,1	0 σ,64
7'	1 mA,1	0 σ,64
8'	1 mA	0 σ,48
9'	1 mA	0 σ,52
11'	1 mA	0 σ,52
12'	1 mA	0 σ,52
14'	0 mA,9	0 σ,48

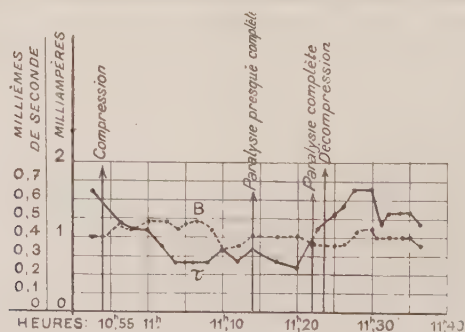


FIG. 46. — EXPÉRIENCE DE RÉPERCUSSION.

Compression avec anémie au bras gauche.
Point moteur du transverse du nez, à droite.

Expérience du 20 novembre 1922.

II. — Stase.

Expérience du 24 juin 1921. — Compression au bras gauche (sans bande d'Esmarek). P = 24 cm. — Durée de la compression = 31 minutes.

Nerf radial et Point moteur supérieur de l'extenseur propre de l'index, à droite (voir fig. 47 et 48).

TEMPS	EXTENSEUR PROPRE DE L'INDEX DROIT			
	NERF		POINT MOTEUR SUPÉRIEUR	
	RHÉOBASE	CHRONAXIE	RHÉOBASE	CHRONAXIE
Avant la compression	1 mA,6	0 σ ,56	2 mA,2	0 σ ,48
Compression du bras gauche à 10 ^h ,47				
4' après le début de la compression .	3 mA,1	0 σ ,60		
8' — — — — —	3 mA,2	0 σ ,52		
13' — — — — —			2 mA,2	0 σ ,52
15' — — — — —	3 mA	0 σ ,56		
18' — — — — —			2 mA,3	0 σ ,48
24' — — — — —	2 mA,6	0 σ ,64		
27' — — — — —			2 mA,5	0 σ ,44
30' — — — — —	2 mA,9	0 σ ,68		
Décompression à la 31 ^e minute à 11 ^h ,18				
2' après la décompression	2 mA,6	0 σ ,72		
4' — — — — —			2 mA	0 σ ,44
6' — — — — —	1 mA,9	0 σ ,76		
9' — — — — —			1 mA,95	0 σ ,44
11' — — — — —	2 mA,7	0 σ ,80		
15' — — — — —			1 mA,9	0 σ ,40
19' — — — — —	1 mA,9	0 σ ,72		
22' — — — — —			2 mA,1	0 σ ,52
25' — — — — —	2 mA,4	0 σ ,56		
27' — — — — —			1 mA,95	0 σ ,44
30' — — — — —	1 mA,5	0 σ ,52		
32' — — — — —			2 mA,1	0 σ ,48

Ces expériences démontrent donc que les centres ont une action sur la valeur de la chronaxie des nerfs moteurs et des muscles qui dépend, en quelque sorte, de l'état fonctionnel de ces centres. On assiste, dans ces expériences, à une modification immédiate et réversible de la chronaxie par voie nerveuse réflexe, le point de départ de cette action étant dans les modifications produites par l'arrêt de la circulation au niveau du membre qui est le siège de la compression. L'existence de modifications de la chronaxie à distance pendant la compression élimine l'hypothèse d'une intoxication à distance par la circulation et les faits observés ne peuvent se comprendre que par l'intervention de la voie nerveuse. C'est tout un chapitre nouveau qui

s'ouvre dans l'étude de l'excitabilité, avec ces expériences, avec mes recherches sur les répercussions dans les lésions les plus variées du

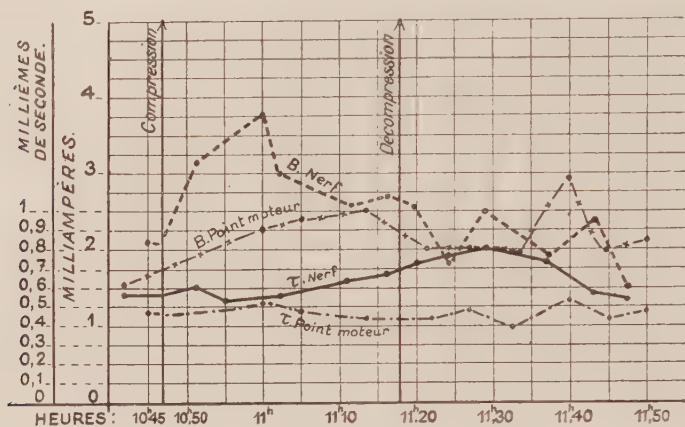


FIG. 47. — EXPÉRIENCE DE RÉPERCUSSION.

Compression avec stase au bras gauche.
Extenseur propre de l'index à droite. — Point moteur supérieur et nerf.
Expérience du 24 juin 1921.

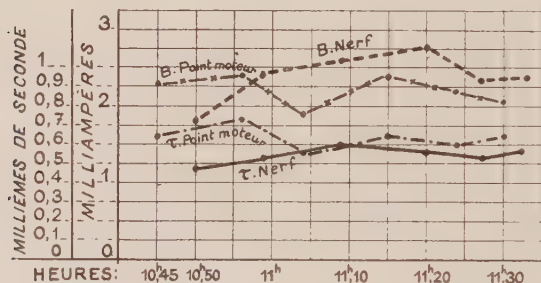


FIG. 48. — EXPÉRIENCE D'IMMOBILITÉ SANS COMPRESSION.

Extenseur propre de l'index droit (nerf et point moteur supérieur).
Expérience du 11 juillet 1921.

système nerveux¹ et avec celles de Mme Lapicque sur l'action des centres sur la chronaxie en physiologie animale.

D. — Conclusions.

Les expériences que je viens de rapporter montrent que la compression avec stase, et mieux encore avec anémie, par les troubles circulatoires qu'elle détermine, constitue un précieux moyen d'inves-

1. G. BOURGUIGNON, *loc. cit.*

ligation au point de vue de l'analyse physiologique du système nerveux. Les résultats auxquels elles conduisent sont les suivants :

1° Pendant la suspension de la circulation, avec stase, comme avec anémie, il se produit une véritable *curarisation*, c'est-à-dire que l'excitabilité directe du muscle est conservée et que son excitabilité indirecte par le nerf est supprimée, ainsi qu'il ressort nettement de l'étude du nerf, du point moteur et de l'excitation longitudinale.

2° Après le rétablissement de la circulation, il se produit une augmentation considérable de la chronaxie du nerf et du muscle, avec contraction lente à la fois par excitation directe et indirecte, c'est-à-dire un syndrome analogue à celui de la *Réaction de dégénérescence*.

3° Les modifications profondes dont sont le siège les nerfs et les muscles sous-jacents à la compression se répercutent à distance par l'intermédiaire des centres sur l'excitabilité des nerfs et des muscles situés loin du siège de la compression.

4° Toutes les modifications observées se produisent en très peu de temps et sont réversibles rapidement.

III

MODIFICATIONS EXPÉRIMENTALES DE LA CHRONAXIE PAR REFROIDISSEMENT D'UN MEMBRE CHEZ L'HOMME NORMAL

L'importance des modifications de la chronaxie provoquées par les troubles circulatoires engendrés par la compression et la décompression chez l'homme normal et le rôle que nous avons vu jouer, en pathologie, aux troubles vaso-moteurs, m'ont incité à rechercher comment réagit un sujet normal au refroidissement et au réchauffement. Déjà, nous savions, par les recherches de Babinski, qu'on peut déterminer l'apparition d'une contraction lente chez un sujet sain par le refroidissement. Babinski avait étudié le refroidissement de la main.

Mais personne n'a, jusqu'ici, suivi la marche de l'excitabilité avec une méthode précise de mesure.

C'est le problème que j'ai cherché à résoudre avec la collaboration de Tarnauceanu.

Au cours de ces expériences, nous avons étudié, non seulement le membre refroidi, mais aussi le côté opposé. Bien que ces expériences ne soient pas terminées, la partie qui en est faite nous a donné des résultats très nets : c'est de ceux là seuls que je parlerai ici¹.

1. Ces expériences, faites en collaboration avec Tarnauceanu, lui appartiennent autant qu'à moi. Encore inédites jusqu'à présent, elles feront prochainement l'objet d'une publication sous nos deux noms.

Nous avons fait les expériences tantôt sur les fléchisseurs, tantôt sur les extenseurs à l'avant-bras. La chronaxie du point moteur supérieur de l'extenseur étant plus grande que celle des fléchisseurs, les variations sont plus faciles à suivre. Je n'étudierai donc, en détail, que les expériences sur les extenseurs, étant entendu que tout ce que je dirai des extenseurs est vrai de tous les muscles, aux valeurs absolues de la chronaxie près.

A. — Disposition des expériences

L'un des avant-bras du sujet est plongé dans un bain de bras contenant de l'eau à la température à laquelle elle sort du robinet, c'est-à-dire aux environs de 8° à 10° . La température de l'eau est maintenue sensiblement constante pendant toute la durée de l'expérience, en ajoutant de temps en temps des morceaux de glace pour lutter contre l'échauffement de l'eau par le sujet.

Le niveau de l'eau est tel que la main, l'avant-bras, le coude et le bras jusqu'à mi-hauteur y sont plongés. La durée de chaque bain est d'environ $3/4$ d'heure.

Les expériences faites jusqu'à présent ont porté sur deux questions :

- 1^o Évolution de la chronaxie du côté refroidi après la sortie du bain.
- 2^o Évolution de la chronaxie du côté opposé, pendant la durée du bain et après la sortie du bain.

Nous avons étudié jusqu'à présent exclusivement la chronaxie des points moteurs.

Je me propose de compléter ces expériences par l'étude de la chronaxie du nerf et par celle de l'évolution de la chronaxie pendant le bain, sur le membre qui est dans l'eau.

Si je n'ai pas commencé par là, c'est qu'il fallait d'abord voir dans quelles conditions on pourrait faire des mesures exactes de chronaxie sur un membre plongé dans l'eau. On pouvait, en effet, craindre qu'une partie du courant dérive par l'eau du bain et que ce soit une cause d'erreur. On pouvait aussi se demander s'il serait facile de voir les seuils sur un membre plongé dans l'eau. Quelques expériences préalables que je viens de faire montrent qu'en prenant certaines précautions, on arrive à mesurer la chronaxie très exactement dans ces conditions.

L'expérience qui manque à mon étude va donc pouvoir être réalisée prochainement.

Laissons donc de ce côté cette partie de la question et limitons-nous aux deux points précis actuellement étudiés.

Dans chaque expérience, la chronaxie est mesurée au point moteur du muscle choisi, avant de commencer l'expérience. On prend aussi la température locale à la surface de la peau au voisinage du lieu de l'excitation, au début et à plusieurs reprises pendant l'expérience.

Du côté refroidi, on observe la succession suivante de phénomènes :

Au bout de deux minutes de séjour dans l'eau à 10°, la peau devient blanche.

Au bout d'une dizaine de minutes, sur la blancheur de la peau apparaissent des trainées rouges. En même temps, les muscles commencent à se parésier en commençant par l'extrémité du membre.

Vers la 20^e minute, le sujet éprouve une sensation de froid profonde surtout dans la paume de la main et la parésie augmente.

Un peu plus tard, la sensation de froid devient une sensation douloureuse à la pulpe des doigts. Ces douleurs s'étendent en même temps que la parésie augmente encore vers la 30^e minute. La peau est de plus en plus marbrée.

Au bout de 3/4 d'heure environ, la sensation de froid gagne l'avant-bras et le sujet se plaint même d'une sensation de froid jusque dans le dos, mais la parésie reste stationnaire.

Elle n'augmente plus quoi qu'on prolonge le bain. A la sortie du bain, au bout de 50 à 55 minutes, par exemple, la parésie n'est pas plus prononcée qu'à la 40^e ou 45^e minute.

Lorsque le sujet retire son bras de l'eau, en moins de deux minutes, tout l'avant-bras devient rouge, comme nous l'avons vu se produire au moment de la décompression. Les sensations de froid localisé se prolongent longtemps et même se généralisent environ 1/4 d'heure après la sortie du bain de bras.

La rougeur de la peau diminue peu à peu. Il faut au moins 1/2 heure pour que tout rentre dans l'ordre.

Dans les différentes expériences que j'ai faites et qui portent sur trois sujets différents, la succession des phénomènes généraux a toujours été comparable à ce schéma.

Si certains phénomènes, comme la rougeur brusque de la peau au moment où cesse l'action de l'agent modificateur, sont semblables dans la compression et dans le refroidissement, il y a cependant des différences assez marquées entre les deux expériences. La paralysie est beaucoup moins prononcée dans le refroidissement que dans la compression, mais le retour à la normale est beaucoup plus rapide dans la compression que dans le refroidissement.

B. — Évolution de l'excitabilité des muscles du côté refroidi après le bain froid local.

Le résultat de cette expérience est des plus nets. La contraction devient lente et la chronaxie augmente plus ou moins selon les expériences, mais toujours notablement. La valeur maxima a varié entre 6σ et 10σ, soit de 10 à 20 fois la valeur normale.

Mais, contrairement à ce qu'on aurait pu attendre, ce n'est pas au moment même de la sortie du bain que cette valeur est atteinte, c'est au bout de 7 à 8 minutes. Il y a là un phénomène analogue à ce que nous avons vu dans les expériences de compression. C'est après la décompression que la chronaxie atteint sa valeur maxima. Il nous restera à rechercher, comme je l'ai dit, si, pendant le refroidissement dans le bain, la chronaxie reste petite ou non.

Après avoir atteint sa valeur maxima, la chronaxie diminue et revient peu à peu à sa valeur normale en 1/2 heure environ.

La contraction, ici, évolue parallèlement à la chronaxie.

La rhéobase varie nettement en sens inverse de la chronaxie, comme il est de règle dans les modifications expérimentales de la chronaxie.

Voici un exemple de cette expérience :

Expérience du 22 mai 1922 (voir fig. 49). — Refroidissement de l'avant-bras droit. — Température de l'eau maintenue entre 9° et 10° centigrades. — Durée du bain : 41 minutes.

Extenseur commun droit (faisc. du 4^e doigt). **Point moteur supérieur.** — Excitabilité mesurée à partir de la sortie du bain. — Electrode n° 1. — Température locale de la peau, un peu en avant du point moteur, avant le bain :

Côté droit 34°6
— gauche 34°2

Chronaxie avant le bain : 0σ,52. — Rhéobase vérifiée après chaque mesure (les vérifications, très bonnes, ne sont pas reproduites dans le tableau).

Excitabilité mesurée après la sortie du bain.

TEMPS ÉCOULÉ DEPUIS LA SORTIE DU BAIN	RHÉOBASE	CHRONAXIE EX 1/1000 DE SECONDE	CONTRACTION	TEMPÉRA- TURE LOCALE	PHÉNOMÈNES GÉNÉRAUX
4'. . . .	1 mA,95	1 σ,08	Légère lenteur . . .	21°,2	Sensation de chaleur dans les doigts et de grand froid au coude.
7'. . . .	1 mA,25	2 σ,24	Lenteur augmente .		
12'. . . .	0 mA,9	10 σ,40	Lenteur.	21°,8	
13'. . . .	0 mA,9	7 σ,2	Lenteur diminue . .		
15'. . . .	0 mA,9	6 σ,8	Lenteur à peu près semblable.	22°,8 23°,2	
17'. . . .	1 mA	6 σ,2		23°,2	Chaleur au coude.
19'. . . .	1 mA	1 σ,76	Contract. plus vive.		
			Galvanotonus léger.	23°,5	
23'. . . .	1 mA,1	3 σ,20	Galvanotonus net. .		
26'. . . .	1 mA,6	0 σ,84	Galvanotonus pres- que disparu. . . .	24°,5	
28'. . . .	1 mA,6	0 σ,52	Galvanotonus mi- nime		
30'. . . .	2 mA,4	0 σ,44	Contraction vive . .		

Dans cette expérience, la chronaxie a atteint sa valeur maxima et la lenteur de la contraction a été nette 12' après la sortie du bain. Pendant le retour de la chronaxie à la normale on remarque une oscillation. Cette oscillation s'est retrouvée dans les autres expériences. Il y a même eu quelquefois plusieurs oscillations pendant le réchauffement spontané après la sortie du bain. Il y a d'ailleurs des oscillations aussi dans les sensations alternantes de chaud et de froid qu'éprouve le sujet.

Le refroidissement produit donc un syndrome très analogue à celui de la dégénérescence, avec contraction lente et chronaxie arrivant à des valeurs comparables à celles de la dégénérescence, tout au moins aux valeurs moyennes, sans arriver aux très grandes valeurs de 20σ à 70σ .

Dans le refroidissement, la lenteur est beaucoup plus forte et dure beaucoup plus longtemps que dans la compression.

Il restera à étudier ce qui se passe sur le nerf, et ce ne sera pas la question la moins intéressante.

C. — Evolution de l'excitabilité des muscles du côté opposé au côté refroidi, pendant le bain et après le bain.

En suivant la chronaxie du côté opposé, après le bain, nous avons observé des variations parallèles à celles que nous venons de voir, mais moins importantes. Nous avons aussi observé des variations du côté opposé pendant le bain. Elles sont beaucoup plus importantes qu'après le bain.

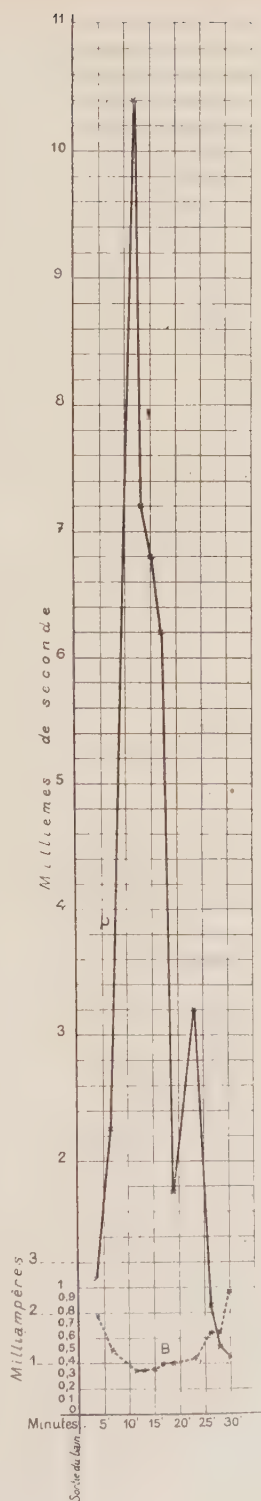


FIG. 49. — EXPÉRIENCE DE REFOUÏSSEMENT. — ÉVOLUTION DE LA CHRONAXIE DU CÔTÉ REFOUÏS DU CÔTÉ REFOUÏS (côté droit) APRÈS LA SORTIE DU BAIN. — SUJET NORMAL.
Extenseur commun des doigts (faîsceau du 4^e doigt). — Point moteur supérieur.
Expérience du 22 mai 1922.

Ces variations du côté opposé sont plus difficiles à interpréter que celles que j'ai observées, avec H. Laugier, dans les expériences de compression. En effet, ici, la circulation n'est interrompue à aucun moment. Il en résulte qu'il est difficile de dire ce qui peut revenir aux produits transportés et à l'action nerveuse. D'autre part, depuis longtemps, Brown-Séquard a montré qu'en refroidissant un membre, il se produit des phénomènes vaso-moteurs du côté opposé dont l'effet est de refroidir aussi le côté opposé. Il y a donc une action indirecte du froid sur le côté opposé.

De nouvelles expériences, complétées par des expériences sur les animaux, seraient nécessaires pour élucider tous les problèmes que posent ces variations de la chronaxie sous l'influence du froid.

Voici une expérience-type sur les variations de la chronaxie du côté opposé pendant et après le bain froid local.

Expérience du 26 juin 1922 (voir fig. 50). — Refroidissement de l'avant-bras droit. — Extenseur commun gauche (faisceau du 4^e doigt). Point moteur supérieur. — Mêmes conditions d'expérience que précédemment. — Durée du bain 47'.

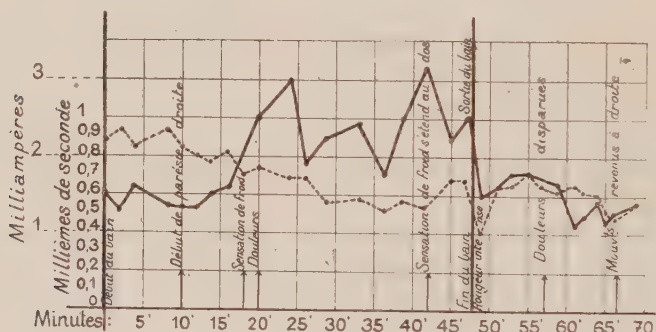


FIG. 50. — EXPÉRIENCE DE REFROIDISSEMENT. — SUJET NORMAL.

ÉVOLUTION DE LA CHRONAXIE DU CÔTÉ OPPOSÉ (CÔTÉ GAUCHE
AU CÔTÉ REFROIDI (CÔTÉ DROIT) PENDANT ET APRÈS LE BAIN FROID LOCAL.
Point moteur supérieur de l'extenseur commun des doigts (faisceau du 4^e doigt).
Expérience du 26 juin 1922.

Température locale de la peau un peu au-dessus et en dehors du point moteur supérieur de l'extenseur commun avant le bain :

Côté droit 31°4
— gauche 30°9

Chronaxie mesurée avant l'expérience, à gauche :

Rhéobase : 2mA,2 $\tau = 0,60$.

La contraction est restée vive à gauche pendant toute l'expérience.

TEMPS ÉCOULÉ	RHÉOBASE	CHRONAXIE	TEMPÉRA- TURE LOCALE À GAUCHE	PHÉNOMÈNES GÉNÉRAUX À DROITE
Début du bain à 11 h. 21'				
2' . . .	2 mA,3	0 σ ,52		Peau très blanche.
4' . . .	2 mA,1	0 σ ,64		
8' . . .	2 mA,3	0 σ ,52		
10' . . .	2 mA,1	0 σ ,52		Trainées rouges. Parésie débutant par le pouce.
12' . . .	2 mA	0 σ ,52		Parésie gagne les autres doigts
14' . . .	1 mA,95	0 σ ,60	29 ^o ,7	
16' . . .	2 mA,05	0 σ ,64	29 ^o ,4	
18' . . .	1 mA,75	0 σ ,84	29 ^o ,4	Sensation de froid profonde à la main. Parésie de tous les doigts.
20' . . .	1 mA,85	1 σ		Douleurs à la pulpe des doigts.
24' . . .	1 mA,7	1 σ ,2	29 ^o ,4	Marbrures augmentent.
26' . . .	1 mA,7	0 σ ,76		Le sujet, sentant de l'engourdissement à gauche, a remué les doigts.
29' . . .	1 mA,4	0 σ ,88	29 ^o ,4	Parésie augmente. Douleurs s'étendent.
33' . . .	1 mA,45	0 σ ,96		
36' . . .	1 mA,3	0 σ ,72	29 ^o ,6	
39' . . .	1 mA,4	1 σ	29 ^o ,6	Parésie stationnaire.
42' . . .	1 mA,35	1 σ ,24	29 ^o ,3	Sensation de froid gagne l'avant-bras et le dos. — Marbrures.
45' . . .	1 mA,7	0 σ ,88	29 ^o ,3	
47' . . .	1 mA,7	1 σ	29 ^o ,3	Mêmes sensations.
Sortie du bain local au bout de 47 minutes à 12 h. 8'				
2' . . .	1 mA	0 σ ,60	29 ^o ,3	Rougeur intense de la peau de l'avant-bras.
4' . . .	1 mA,6	0 σ ,64		
6' . . .	1 mA,65	0 σ ,72	29 ^o ,1	Le sujet commence à se réchauffer profondément.
8' . . .	1 mA,8	0 σ ,72		Rougeur de la peau diminue.
10' . . .	1 mA,7	0 σ ,68	29 ^o ,2	Douleurs disparues. Sensation de froid à l'avant-bras.
12' . . .	1 mA,55	0 σ ,56	29 ^o .	
14' . . .	1 mA,6	0 σ ,44		
15' . . .	1 mA,55	0 σ ,48	29 ^o .	
17' . . .	1 mA,5	0 σ ,56		
18' . . .	1 mA,3	0 σ ,48	29 ^o .	
19' . . .	1 mA,25	0 σ ,52	29 ^o .	Mouvements revenus. Sensation de froid persistante à l'avant-bras.
22' . . .	1 mA,4	0 σ ,56	29 ^o .	Le réchauffement n'est pas encore complet.

Ainsi, du côté gauche, pendant le refroidissement à droite, la chro-

naxie commence à augmenter à partir de la 14^e minute. La rhéobase, au contraire, diminue.

La chronaxie a doublé sa valeur à la 24^e minute. Ensuite, elle redescend un peu et oscille autour de 1 σ jusqu'à la sortie du bain.

C'est à peu près à partir du moment où la parésie apparaît à droite que la chronaxie commence à augmenter à gauche.

À la sortie du bain, brusquement, en même temps que la peau du côté refroidi devient très rouge, la chronaxie retombe à la normale. Puis elle augmente un peu, mais si peu qu'on pourrait douter de la réalité de cette élévation si elle ne s'était pas montrée constamment dans toutes nos expériences.

Au bout de 10 minutes, elle diminue et reprend sa valeur primitive pour y rester. La rhéobase oscille pendant tout ce temps, mais elle n'est pas encore revenue à la normale au moment où on a arrêté l'expérience, 22' après la sortie du bain.

D. — Résumé.

Tels sont les faits que j'ai observés dans ces expériences de refroidissement.

Certes, ces expériences sont loin d'être complètes. Elles établissent, néanmoins, deux faits très nets :

1^o Du côté refroidi, la chronaxie s'élève et la contraction devient lente, un peu après la sortie du bain.

2^o Le côté opposé évolue parallèlement au côté refroidi après le bain.

Les variations les plus importantes du côté opposé s'observent pendant le bain.

La diminution brusque de la chronaxie du côté opposé, à la sortie du bain, succédant à une augmentation assez marquée pendant le bain, permet de supposer que, pendant le bain, les muscles du côté refroidi ont subi une augmentation parallèle et plus importante de leur chronaxie.

Il est logique de penser que cette diminution de la chronaxie à la sortie du bain est en rapport avec l'afflux de sang que traduit la rougeur intense qui se produit à la sortie de l'eau.

La variation de la chronaxie, du côté refroidi, dans ces expériences, dépasse certainement celles que pourrait produire exclusivement le refroidissement direct, ainsi que je l'ai déjà fait remarquer en étudiant les contractions lentes produites par les troubles vaso-moteurs en pathologie.

L'action du bain froid local doit agir par l'intermédiaire des troubles vaso-moteurs qu'il détermine.

Ces expériences établissent donc, dès maintenant, l'importance de l'état des circulations locales dans la valeur de l'excitabilité.

Elles appuient ce que j'ai dit, en étudiant les variations pathologiques de la chronaxie, que des troubles non lésionnels sont capables de produire un syndrome analogue à celui de la dégénérescence.

Elles confirment les rapports de la chronaxie avec la durée de la contraction que toutes les recherches de physiologie comparée de L. Lapique et mes propres recherches de physiologie pathologique établissent avec la plus grande netteté.

Elles montrent enfin l'importance de l'emploi de ce procédé pour étudier l'excitabilité chez l'Homme à l'état normal comme à l'état pathologique.

A ce dernier point de vue, elles posent un premier jalon pour comparer l'action d'un même refroidissement à l'état normal et dans différents états pathologiques.

Ces expériences, qui ne sont qu'un début, ouvrent donc une voie expérimentale qui devra se montrer féconde dans l'étude de la physiologie normale et pathologique du système nerveux.

Il y aura évidemment à faire la contre-partie de ces recherches et à étudier l'action de l'échauffement des tissus sur la chronaxie. Nous disposerons même à ce point de vue d'un moyen expérimental puissant, grâce à la diathermie qui permet d'élever la température directement dans la profondeur jusqu'aux environs de 39°. Il sera intéressant de comparer l'échauffement local extérieur par bains chauds, ou bains de lumière, avec l'échauffement diathermique des courants de haute fréquence.

IV

DÉGÉNÉRESCENCE EXPÉRIMENTALE CHEZ LE CHIEN RÉPERCUSSIONS

Les expériences sur la chronaxie normale des chiens que j'ai étudiés à la fin de mon étude sur la chronaxie normale, m'ont fourni l'occasion de poser les premiers jalons de l'étude de la dégénérescence expérimentale chez les mammifères.

J'ai mesuré la chronaxie des muscles dégénérés chez deux de ces chiens.

En reprenant les protocoles de ces expériences, j'ai vu que les répercussions d'un côté à l'autre, que j'ignorais alors, s'y retrouvent.

L'étude de trois des chiens dont j'ai étudié la chronaxie normale donne ainsi une confirmation expérimentale de ce que j'ai dit de la chronaxie dans la dégénérescence wallérienne chez l'Homme et des répercussions des lésions des nerfs d'un côté à l'autre. Une fois de plus l'expérimentation sur les nerfs dénudés donne des résultats, non pas approchants, mais identiques à ceux que j'ai obtenus chez l'Homme,

dans l'excitation percutanée. La mesure de la chronaxie des muscles pathologiques chez l'Homme est donc aussi sûre que celle de la chronaxie des muscles normaux.

A. — Variations de la chronaxie par répercussion de la section d'un nerf d'un côté sur le nerf homologue du côté opposé.

Chez deux des chiens qui m'ont servi à établir la chronaxie normale du sciatique du Chien, j'ai fait successivement l'expérience sur les deux pattes.

Il s'agit des chiens II et III de la série d'expériences sur la chronaxie normale, c'est-à-dire les deux fox de la même portée qui avaient une chronaxie normale petite, de 0 σ ,10 environ.

Chez le chien II, les expériences sur les deux nerfs ont été faites seulement à 2 jours d'intervalle. Chez le chien III, au contraire, il s'est écoulé 18 jours entre les deux interventions.

Or, chez le premier animal, j'ai trouvé la même chronaxie sur les deux côtés étudiés à 48 heures de distance; il n'y avait donc pas de répercussion.

Au contraire, chez le chien III, chez qui les deux expériences ont été séparées par un intervalle suffisant pour que la dégénérescence ait eu le temps d'évoluer, j'ai trouvé sur la 2^e patte opérée une chronaxie environ 4 fois plus grande que sur la première. Cette expérience reproduit exactement l'expérience réalisée accidentellement chez l'Homme et dont j'ai donné les détails (Mlle M., Marthe, page 314).

Nous avons vu, en effet, chez cette blessée, que la répercussion n'existait pas 8 jours après la section, mais qu'elle existait 12 jours plus tard, soit 20 jours après la section. Chez notre chien, la répercussion existe 18 jours après la section.

Expériences. — **I. Chien II.** — Les conditions et les détails de l'expérience ont été donnés plus haut (voir page 231.)

Sciatique gauche. — 18 mai 1914. — $\tau = 0 \sigma,08$ à $0 \sigma,11$

Sciatique droit. — 20 mai 1914. — $\tau = 0 \sigma,10$ à $0 \sigma,14$

Il n'y a aucune différence entre les deux pattes.

II. — Chien III. — (Voir les détails de l'expérience page 235).

1^o Section du sciatique gauche le 25 mai 1914 $\tau = 0 \sigma,09$ à $0 \sigma,11$

2^o Sciatique droit le 12 juin 1914.

Même intervention et même préparation de l'expérience que sur la première patte.

Le 12 juin 1914, la patte gauche est flasque et ses muscles sont très atrophiés. — Mesures de la chronaxie de la patte droite, saine :

$$\tau = R C \tau \times 0,57 \quad R = 10.000 \omega$$

Mesures directes de la chronaxie.

a) *Méthode bipolaire.*

MESURES	RHÉOBASE		CHRONAXIE	
	VOLTAGE	INTENSITÉ	CT	τ
1 ^{re} mesure.	1 v,46	0 mA,13	0 mf,13	0 σ ,48
2 ^e mesure.	1 v,52	0 mA,14	0 mf,13	0 σ ,48

b) *Méthode monopolaire. — Electrodes impolarisables.*

Grande électrode positive sur le dos. — Petite électrode négative sur le nerf isolé sur une feuille de caoutchouc au fond de la plaie.

RHÉOBASE		CHRONAXIE	
VOLTAGE	INTENSITÉ	CT	τ
1 v,12	0 mA,1	0 mf,13	0 σ ,48

Ainsi, avec un intervalle de 18 jours entre les deux expériences, la chronaxie du sciatique du côté opposé au sciatique dégénéré est 4 fois plus grande que celle qu'on avait trouvée dans l'expérience sur le nerf sectionné le premier.

La comparaison de ces expériences sur ces deux chiens, qui avaient la même chronaxie normale, ne laisse aucun doute sur l'existence de la répercussion de la lésion du nerf de la patte gauche sur le nerf homologue de la patte droite.

La variation de la chronaxie par répercussion est du même ordre de grandeur que chez l'Homme et, comme chez lui, elle fait défaut tout au début de la dégénérescence.

B. — Dégénérescence.

Sur les chiens III et IV des expériences précédentes, j'ai réexaminé les muscles dégénérés à plus ou moins longue échéance, en méthode bipolaire et en méthode monopolaire, à la surface du muscle dénudé. J'ai trouvé des chronaxies du même ordre de grandeur que celles que nous avons vues chez l'Homme, pour des durées de contraction analogues.

I. — **Chien III.** — Patte droite dont le nerf avait été sectionné le 12 juin 1914. — Chronaxie normale de ce Chien : $\tau = 0 \sigma,40$.

Expérience du 26 juin, soit 14 jours après la section. — Méthode monopolaire. — Électrode négative sur la partie inférieure du muscle.

Jumeau externe dénudé.

MESURES	RHÉOBASE		CHRONAXIE		CONTRACTION
	VOLTAGE	INTENSITÉ	ct	τ	
1 ^{re} mesure. . .	NF.	4 v,9	0 mA,45	6 mf,3	23 σ ,3
	NF.	3 v,2	0 mA,28	6 mf,3	23 σ ,3
2 ^e mesure. . .	NF.	24 v,5	2 mA,3	6 mf,8	25 σ
	NF.	45 v	4 mA,4	6 mf,5	24 σ

Vermiculaire

II. — **Chien IV.** — Section du nerf sciatique de la patte droite le 1^{er} juin 1914. — Chronaxie normale de ce Chien : $\tau = 0\sigma,40$.

Expérience du 15 juin 1914, soit 14 jours après la section.
 $\tau = RC_{\tau} \times 0,37$.

Jumeau externe découvert.

MESURES	RHÉOBASE		CHRONAXIE		CONTRACTION
	VOLTAGE	INTENSITÉ	ct	τ	
a) <i>Méthode bipolaire. — Courant descendant.</i>					
1 ^{re} mesure	31 v,2	2 mA,9	4 mf,4	16 σ ,3	Très lente.
2 ^e mesure.. :	32 v	2 mA,9	4 mf,2	15 σ ,5	
b) <i>Méthode monopolaire.</i>					
	40 v	0 mA,92	4 mf,3	15 σ ,9	Très lente.

Les expériences chez les chiens III et IV sont concordantes. Vers le 15^e jour, la chronaxie atteint une valeur de 15 σ à 25 σ . Il est remarquable que le chien qui avait la chronaxie normale la plus petite (Chien III, fox) est celui qui a, à ce moment, la chronaxie la plus grande.

Si on se reporte aux observations de section du radial on voit que, au début, la chronaxie du long supinateur atteint, en général, une valeur plus grande que celle des extenseurs, dans les premières semaines de la dégénérescence. Il semble donc que les muscles de petite chronaxie dégèrent plus vite que les muscles de chronaxie plus grande. Plus tard, ils arrivent tous à des valeurs maxima sensiblement égales.

Les phénomènes que nous avons observés chez l'Homme se retrouvent donc chez le Chien. La seule différence, c'est que l'évolution est plus rapide chez le Chien. La chronaxie arrive en 15 jours aux valeurs que nous n'avons vues atteintes chez l'Homme que vers le 30^e ou le 40^e jour. La différence n'est vraiment pas très grande.

Ces expériences, tout incomplètes qu'elles soient, sont entièrement d'accord avec les observations humaines à tous les points de vue. Elles montrent, en outre, combien l'expérimentation sur le Chien, ou les différents mammifères, pourra être féconde en résultats directement applicables à l'Homme en pathologie expérimentale ou en physiologie.

RÉSUMÉ

Si nous jetons un coup d'œil d'ensemble sur les recherches que je viens d'exposer, nous voyons se dégager trois grands faits :

1^o La chronaxie varie parallèlement à la durée et à la forme de la contraction qui sont elles-mêmes en rapport avec les conditions physiologiques dans lesquelles se trouve le muscle. C'est, sur le même sujet, réalisé par la pathologie, ce que L. Lapicque a si bien montré en physiologie comparée.

Cette importante notion substitue à l'interprétation anatomique des altérations des réactions électriques en pathologie une interprétation physiologique. L'ordre de grandeur des variations est sensiblement le même dans les lésions anatomiques que dans les troubles d'ordre fonctionnel (troubles vaso-moteurs, refroidissement, etc...) Toutes les lois de la physiologie normale se retrouvent en pathologie, notamment celles de l'isochronisme du nerf moteur et du muscle.

2^o La chronaxie révèle des « *synergies* pathologiques » si l'on me permet cette expression, comme elle a révélé des synergies fonctionnelles normales. Je veux dire que les muscles et nerfs qui ont la même chronaxie ont, la fois, les mêmes fonctions physiologiques et les mêmes aptitudes pathologiques : c'est ce que démontre l'étude de la localisation des poisons et des infections suivant les chronaxies.

3^o La chronaxie varie non seulement avec les troubles localisés dans les neurones moteurs périphériques et les muscles, mais encore avec les troubles localisés dans des neurones fonctionnellement associés aux nerfs moteurs et aux muscles. C'est ce que j'ai appelé les « *répercussions* ». Cette notion éclaire les relations entre les différentes parties du système nerveux. Elle explique peut-être le caractère si souvent symétrique des maladies du système nerveux.

Tels sont les faits d'intérêt très général que l'étude de la chronaxie en pathologie nous révèle.

L'expérimentation, soit sur l'Homme, soit sur le Chien, confirme l'étude des variations pathologiques de la chronaxie.

J'ai pu reproduire des variations passagères de la chronaxie sous l'influence de troubles circulatoires, analogues à celles que réalisent les troubles vaso-moteurs en pathologie.

La variation de la chronaxie dans la dégénérescence expérimentale est comparable à celle qu'on observe en pathologie humaine.

Enfin, chose de la plus grande importance, j'ai déterminé expérimentalement les phénomènes de répercussion que j'ai mis en évidence d'abord par l'étude de la pathologie humaine.

Ainsi s'intriquent et se contrôlent les résultats de l'étude des variations de la chronaxie en pathologie et de l'étude des variations expérimentales de la chronaxie chez l'Homme et chez le Chien.

Les faits nouveaux que j'ai mis en évidence s'accordent avec tous les faits connus depuis que L. Lapicque a introduit la notion de chronaxie en physiologie et l'ensemble de toutes ces recherches forme maintenant un tout très coordonné qui éclaire d'un jour nouveau tout le fonctionnement du système nerveux.

C'est ce que je vais essayer de mettre en lumière dans la dernière partie de ce travail.

QUATRIÈME PARTIE

ÉTUDE SYNTHÉTIQUE DE LA CHRONAXIE
EN PHYSIOLOGIE NORMALE
ET PATHOLOGIQUE
ESSAI DE PHYSIOLOGIE GÉNÉRALE

QUATRIÈME PARTIE

ÉTUDE SYNTHÉTIQUE DE LA CHRONAXIE EN PHYSIOLOGIE NORMALE ET PATHOLOGIQUE ESSAI DE PHYSIOLOGIE GÉNÉRALE

Maintenant que nous avons analysé tous les faits que m'a révélés l'étude de la chronaxie normale et pathologique de l'Homme, et accessoirement des animaux mammifères, il nous faut reprendre l'étude de la chronaxie d'un point de vue synthétique.

Que l'édifice ne soit pas complet, je ne m'y trompe pas. Que bien des lacunes soient à combler, que des faits nouveaux puissent un jour réformer quelque une des idées générales que je cherche à extraire de mes recherches, je ne me fais aucune illusion à ce sujet.

Mais il me semble que, dès maintenant, l'ensemble des faits que j'ai mis en lumière, rapprochés des faits antérieurement connus par les beaux travaux de L. Lapicque et de son école, qui ont été un guide précieux pour moi dans mes investigations sur la chronaxie en physiologie humaine normale et pathologique, constituent un ensemble suffisamment cohérent pour tenter d'en faire une synthèse. Cette synthèse, pour provisoire qu'elle soit, aura au moins l'avantage de nous montrer clairement le chemin parcouru et de nous indiquer, par ses lacunes mêmes, la voie à suivre dans les recherches futures.

Pour faire cette synthèse, j'irai du plus simple au plus complexe ; nous verrons ainsi des synthèses partielles qui nous mèneront peu à peu à une synthèse générale. Dans cette étude, la physiologie pathologique est inséparable de la physiologie normale, car, c'est en m'appuyant sur des faits tirés de l'une et de l'autre que je pourrai tenter d'établir quelques idées générales.

CHAPITRE I

NERFS MOTEURS ET MUSCLES

A l'état normal, sur un muscle pourvu de ses nerfs, nous avons vu qu'il est actuellement impossible de connaître autre chose que l'excitabilité nerveuse. Mes expériences sur le point moteur chez le Lapin et sur les muscles à double chronaxie excités longitudinalement chez l'Homme ne laissent guère de doutes à cet égard.

Mais la physiologie expérimentale d'une part, la pathologie de l'autre, font une séparation du nerf et du muscle, par des procédés tantôt semblables, tantôt différents. Tout l'ensemble des recherches de L. Lapicque sur la Grenouille, à l'aide du curare et de la strychnine et de mes propres recherches sur l'Homme dans les états pathologiques et dans les expériences de compression aboutissent à la même conclusion : *la condition nécessaire de la transmission de l'excitation du nerf au muscle, est leur isochronisme, c'est-à-dire l'égalité de leurs chronaxies.*

Le nerf et le muscle normaux sont donc aussi intimement liés au point de vue fonctionnel qu'au point de vue anatomique et au point de vue trophique.

En conséquence, en l'état actuel de nos connaissances, nous ne pouvons pas les étudier séparément et c'est le tout « nerf-muscle » que je vais considérer.

Chaque système nerf-muscle, tout physiologique indivis, est caractérisé fonctionnellement par son excitabilité que mesure sa chronaxie. A quoi donc est liée la valeur de la chronaxie d'un système donné ?

L'expérience montre que la valeur de la chronaxie dépend de plusieurs facteurs.

Ici encore, les résultats des recherches de physiologie comparée imposent les mêmes conclusions que l'étude de la chronaxie normale et de la chronaxie pathologique chez l'Homme.

Le rapport le plus évident est celui de la chronaxie avec la durée de la contraction du muscle.

Nous avons vu que, lorsqu'on classe les muscles de la série animale, comme l'ont fait L. Lapicque et Mme Lapicque, d'une part, suivant la valeur de leurs chronaxies, d'autre part, suivant la durée de leur con-

traction, les deux classifications se superposent. Un tissu est donc rapide ou lent dans toutes ses manifestations.

Un tissu est caractérisé par son *temps physiologique* comme disait Engelmann.

Toutes les recherches sur les variations de la chronaxie en pathologie que j'ai exposées aboutissent à la même conclusion.

La seule réserve à faire est que, dans la période initiale de la dégénérescence, pendant qu'elle s'établit, la vitesse avec laquelle varient la chronaxie, d'une part, la durée de la contraction, d'autre part, n'est pas la même, de sorte qu'il y a un décalage : la chronaxie est en avance dans son évolution sur la contraction, mais cela ne change rien à la loi générale.

Il ne faut pas comparer, en effet, des tissus en voie de transformation, en voie d'évolution, comme les muscles pendant que la dégénérescence se constitue, avec des tissus arrivés à un état d'organisation stable, comme le sont les muscles d'animaux adultes normaux qu'on étudie en physiologie comparée.

Il faut comparer entre eux des tissus en état d'organisation faite. Si on laisse donc de côté la période de constitution des lésions en pathologie, pour ne considérer que les lésions constituées, on retrouve la même loi du rapport de la chronaxie avec la durée de la contraction qu'en physiologie comparée.

C'est ce qui ressort du tableau que j'ai dressé du rapport de la chronaxie pathologique avec les différentes formes de la contraction pathologique : plus la durée de la contraction augmente, plus la chronaxie est grande (voir tableau xiv, page 254).

Chez l'Homme d'ailleurs, même à l'état normal, bien qu'on ne trouve pas d'échelle de chronaxies aussi étendue qu'en physiologie comparée, on voit, même sans faire de mesures précises, que la contraction des faisceaux musculaires de chronaxie la plus grande, comme les extenseurs à l'avant-bras (0,58) est moins vive, moins rapide, que la contraction des muscles de chronaxie plus petite, comme les fléchisseurs à l'avant-bras (0,30) ou le biceps (0,10).

Certains muscles mêmes, qui sont composés de deux groupes de fibres de chronaxie différente, ayant chacun leur point moteur, ont une contraction plus rapide ou moins rapide, à la simple inspection, suivant qu'on fait porter l'excitation sur le point moteur de petite chronaxie ou de grande chronaxie.

Voilà donc un premier fait d'une généralité très grande : la chronaxie est en rapport avec la durée de la contraction aussi bien en physiologie normale qu'en physiologie pathologique.

Ce point acquis, la question que je posais au début de cette étude, se trouve déplacée, mais non résolue ; elle revient, en somme, à la suivante :

Puisque la chronaxie et la contraction varient ensemble, quelles sont

les conditions qui font que certains muscles sont plus rapides que d'autres, chez un même sujet?

Cette question, c'est l'étude de la physiologie humaine qui m'a permis de la résoudre. C'est la réponse à cette question qui constitue l'un des faits nouveaux que mes recherches ont apportés dans nos connaissances en physiologie neuro-musculaire.

En effet, ce n'était guère par l'étude de muscles déterminés étudiés dans la série animale que la loi pouvait s'apercevoir, c'était seulement par l'étude des muscles d'un même sujet et surtout d'un sujet hautement différencié : c'est en cela que l'étude de l'Homme a été particulièrement féconde.

Quand il s'est agi de l'Homme, des questions d'ordre pratique réclamaient impérieusement la détermination de la chronaxie normale de tous les muscles. C'est en cherchant à établir les valeurs normales pour les comparer avec les modifications pathologiques que j'ai vu les muscles se ranger en groupes naturels, caractérisés chacun par une chronaxie comprise entre des limites très déterminées.

En étudiant ces groupes, on s'aperçoit, comme je l'ai montré, que ce sont des groupes fonctionnels.

Dans chaque segment de membre, la chronaxie classe les muscles en deux groupes, ceux qui portent le membre en avant et ceux qui le portent en arrière. Les premiers ont la chronaxie la plus petite; les autres ont une chronaxie toujours plus grande, deux fois environ pour la plupart, 5 fois à la cuisse.

D'une façon générale, les muscles antérieurs paraissent présider aux mouvements rapides. Il semble bien qu'ils soient surtout des muscles cloniques, les muscles postérieurs étant plutôt des muscles toniques. La différence de leurs chronaxies est en rapport avec la différence de leurs fonctions.

Mais, à côté de leur fonction propre, opposée à celle des muscles antérieurs, les muscles postérieurs ont une fonction de frein du mouvement produit par les muscles antérieurs. Pour accomplir cette fonction, ils doivent suivre très exactement les alternatives de contraction et de relâchement des muscles antérieurs. Ils doivent donc pouvoir répondre aux mêmes excitations dans le même temps.

L'expérience montre que, parmi les muscles postérieurs, il y a des muscles (ex. les radiaux) ou portions de muscles bien individualisés (ex. : le vaste interne du triceps) ou des faisceaux d'un même muscle, qui ont la même chronaxie que les muscles antérieurs : c'est ainsi que nous avons vu des faisceaux alternativement plus lents et plus rapides composer le long dorsal, et deux groupes de fibres ayant chacun leur point moteur, composer les extenseurs à l'avant-bras et le jambier antérieur.

De là, nous pouvons tirer une nouvelle notion générale : les synergies fonctionnelles des muscles ou faisceaux musculaires sont

reposent sur l'égalité de leurs chronaxies. Les muscles et les faisceaux musculaires postérieurs sont donc classés par la chronaxie en 2 groupes : 1^o les antagonistes des muscles antérieurs ; 2^o les synergiques de ces muscles.

L'interprétation que je viens de résumer de la signification physiologique de la classification des muscles par la chronaxie reçoit une confirmation de l'étude de la pathologie, qui fournit des faits tels qu'ils constituent une véritable *contre-épreuve* de ce que je viens de dire.

En effet, s'il est exact que les synergies fonctionnelles sont en rapport avec l'égalité de la chronaxie de tous les muscles synergiques, on doit, lorsque la chronaxie de certains muscles se modifie, voir changer les muscles qui se contractent en même temps.

Or, cette expérience, irréalisable ou difficilement réalisable, est faite par la pathologie. J'ai montré, en étudiant la régénération des nerfs sectionnés, que souvent, dans le domaine radial, à un moment donné, la chronaxie du long supinateur passe par une valeur égale à celle des radiaux : à ce moment, sa chronaxie diffère de celle du biceps ; on constate alors qu'au lieu de se contracter synergiquement avec le biceps, comme il le fait normalement, le long supinateur se contracte synergiquement avec les radiaux. Puis, l'évolution continuant, l'équilibre normal des chronaxies se rétablit, et les synergies fonctionnelles normales reparaissent.

On ne peut pas demander de contre-épreuve plus nette.

Nous avons, en effet, les deux expériences suivantes :

1^o A l'état normal, les muscles synergiques ont la même chronaxie.

2^o A l'état pathologique, l'apparition de chronaxies différentes à la place de chronaxies égales accompagne la disparition de la synergie normale, et l'apparition de chronaxies égales à la place de chronaxies normalement différentes accompagne l'apparition de synergies anormales.

Poussons plus en avant nos investigations. Ce que je viens de dire s'applique à la comparaison des muscles antérieurs et postérieurs d'un même segment de membre.

Comparons, comme je l'ai fait, la chronaxie des muscles de fonction analogue situés dans deux segments de membre.

Nous trouvons une différence un peu plus grande qu'entre les deux groupes musculaires antagonistes d'un même segment, et toujours, les muscles du segment situé plus près de la racine du membre, ou segment proximal, ont une chronaxie plus petite que les muscles du segment situé à l'extrémité du membre, ou segment distal.

Il n'y a qu'à se reporter aux tableaux que j'ai donnés dans la deuxième partie de ce travail pour voir que la loi est absolument générale.

Nous pouvons donc compléter la loi de l'égalité de la chronaxie des muscles ayant les mêmes fonctions dans un même segment de membre en disant :

Pour une même fonction, considérée dans deux segments du même membre, la chronaxie est plus grande pour les muscles les plus éloignés du tronc.

En d'autres termes, dans un segment de membre, la chronaxie paraît augmenter avec la longueur des nerfs.

Cette loi, si les nouvelles recherches permettaient de l'étendre, serait à rapprocher de celle que L. Lapicque et Legendre ont établie sur l'animal et suivant laquelle la chronaxie est plus grande pour les fibres de petit diamètre que pour les fibres de grand diamètre.

La chronaxie dépend donc de deux facteurs : la fonction musculaire et les conditions physiques de calibre, et peut-être de longueur des fibres nerveuses.

Le résultat est que les muscles d'un même segment de membre ont des chronaxies plus voisines les unes des autres que les muscles de même fonction considérés sur deux segments de membre. L'indépendance des fonctions est évidemment plus grande d'un segment à l'autre que sur le même segment, au moins au membre supérieur. Au membre inférieur, cela n'est vrai que des muscles antérieurs. La synergie des muscles postérieurs est, en effet, très grande à la cuisse et à la jambe.

En dernière analyse, c'est toujours à une loi fonctionnelle qu'on revient.

La chronaxie nous a donc fait pénétrer de plus en plus profondément dans le fonctionnement du système neuro-musculaire, et nous pouvons en résumer toutes les lois en une seule proposition très simple :

Tous les muscles ou portions de muscles synergiques d'un même mouvement, dans un même segment de membre, ont la même chronaxie.

C'est dire que la valeur de la chronaxie et la durée de la contraction sont sous la dépendance de la fonction des muscles.

En vertu de la loi de l'isochronisme du nerf moteur et du muscle, la valeur de la chronaxie des nerfs moteurs se trouve en rapport avec la fonction des muscles qu'ils commandent.

Voilà donc une première idée générale fondamentale que nous trouvons à la base de l'étude du système nerveux et qui est solidement établie à la fois par la physiologie normale et par la pathologie.

Il est remarquable que le nombre des chronaxies différentes est restreint et qu'on retrouve sur les membres, le tronc, le cou, la face, les mêmes chronaxies. Je rappelle que les chronaxies motrices se répartissent toutes entre 3 valeurs :

0 σ ,08 à 0 σ ,16 ; 0 σ ,20 à 0 σ ,36 ; 0 σ ,44 à 0 σ ,72 ; seul le triceps brachial, au membre supérieur, avec sa chronaxie de 0 σ ,16 à 0 σ ,32, mérite de former un 4^e groupe, en raison de sa fonction et du rapport de sa chronaxie à celle des fléchisseurs au bras.

CHAPITRE II

NERFS SENSITIFS ET NERFS SENSORIELS RELATIONS ENTRE LES CHRONAXIES DES SYSTÈMES NEURO-MUSCULAIRES ET SENSITIFS

° Je n'ai fait qu'ébaucher l'étude de la chronaxie des nerfs sensoriels : cependant, en m'appuyant sur les résultats de l'étude de la totalité des chronaxies musculaires mesurables sur le sujet entier et sur la totalité des chronaxies sensitives du membre supérieur, je puis inférer que ce que j'ai trouvé sur un système sensoriel, le système optique, est certainement vrai des autres systèmes sensoriels. Leur chronaxie est certainement non pas la même, mais du même ordre de grandeur, c'est-à-dire nettement plus grande que toutes les chronaxies motrices et sensitives.

Dans le domaine de la sensibilité, la chronaxie sépare donc les nerfs de sensibilité générale des nerfs sensoriels; au contraire, elle rapproche les nerfs de sensibilité générale des nerfs moteurs et des muscles.

Nous avons vu en effet que, au membre supérieur, les chronaxies sensitives sont *régionalement* égales aux chronaxies motrices. En d'autres termes, les muscles et les nerfs moteurs et les nerfs sensitifs qui innervent la peau qui les recouvre ont la même chronaxie.

Aux quatre groupes de chronaxies motrices du membre supérieur correspondent quatre groupes de chronaxies sensitives de même valeur. Les quelques mesures de chronaxies sensitives que j'ai faites sur le membre inférieur et la face montrent que la loi est générale.

Cette égalité des chronaxies motrices et sensitives par région rend compte, en partie, de réflexes normaux, comme le réflexe radio-périosté et le réflexe palmo-mentonnier, ainsi que je l'ai développé en exposant les faits concernant la chronaxie des nerfs sensitifs.

En pathologie, j'ai démontré l'existence de *répercussions* de la lésion d'un neurone sensitif sur les nerfs moteurs et les muscles de même chronaxie, soit du même côté, soit du côté opposé, que la lésion siège dans le neurone sensitif exclusivement, comme il arrive dans le tabes, ou qu'elle siège dans le nerf mixte, comme il arrive

dans les blessures des nerfs périphériques. Ces répercussions se font d'abord de nerf sensitif à nerf moteur de même chronaxie : c'est, dans le domaine de la pathologie, la même loi que celle que, en physiologie normale, nous avons trouvée pour les réflexes auxquels je viens de faire allusion.

Cette loi de la répercussion réflexe des lésions des neurones sensitifs périphériques sur la chronaxie des neurones moteurs périphériques correspondants se retrouve dans toutes les atrophies réflexes, que leur cause réside dans l'articulation ou dans les tissus périarticulaires ou dans le tendon même du muscle et même dans l'os sur lequel le muscle s'insère. Dans une région déterminée, l'ensemble des tissus qui composent le membre, depuis l'os jusqu'à la peau, sont innervés par des nerfs moteurs ou sensitifs de même chronaxie, ils forment véritablement un tout physiologique caractérisé par le même temps physiologique et la distribution de ces régions de même chronaxie est subordonnée à celle des fonctions musculaires, c'est dire que toute la disposition physiologique du système « sensitivo-moteur » périphérique est superposée à la distribution des fonctions musculaires. C'est cette fonction musculaire qui est à la base de tout le système.

Non seulement on constate ces répercussions dans les lésions, mais on les constate aussi dans des troubles purement fonctionnels et réversibles, comme ceux que j'ai réalisés, avec H. Laugier, dans les expériences de compression.

Dans ce cas, la compression exercée au bras trouble toute la physiologie des nerfs de l'avant-bras, où on trouve toute l'échelle des chronaxies normales. Les répercussions dans ce cas sont très étendues et doivent porter sur l'ensemble, pour ainsi dire, du système neuro-musculaire.

Ces répercussions sont passagères et réversibles, comme la cause qui les produit. Ce fait, très important, est à rapprocher des expériences de Mme Lapique sur l'influence des centres sur la chronaxie des nerfs moteurs. Tous ces faits tendent à prouver que la chronaxie d'un système neuro-musculaire est fonction non seulement de la valeur fonctionnelle de ce système, mais aussi de l'état fonctionnel des neurones qui réagissent sur lui normalement.

Il s'agit si bien de l'état fonctionnel des centres, médullaires ou autres, que, dans les observations de répercussion de la lésion d'un nerf mixte sur les nerfs de même chronaxie du même côté et du côté opposé, ou dans celles de répercussions de la lésion du tabes sur les systèmes neuro-musculaires, ce n'est que pendant les périodes d'activité fonctionnelle de la lésion que la répercussion peut s'observer. Il faut que le nerf blessé ou le cordon postérieur malade soit le siège de processus actifs pour que la répercussion existe.

Nous avons vu, en effet, que, dans le tabes, je n'ai vu de répercussions, jusqu'à présent, que pendant les crises de douleurs fulgu-

rantes, crises qui sont la manifestation extérieure de l'activité de la lésion en évolution. De même, pour les nerfs périphériques, c'est pendant la constitution de la dégénérescence ou pendant la régénération que la répercussion se montre. Il faut que le centre, excité par les influx nés au niveau de la lésion en activité, soit dans un état fonctionnel déterminé pour qu'il y ait réaction sur la chronaxie du neurone moteur périphérique et du muscle.

Tous ces faits tirés de la physiologie normale et de la pathologie montrent les relations étroites qui unissent le système sensitif et le système moteur et sont en accord avec certaines des hypothèses que L. Lapique avait faites sur le fonctionnement général élémentaire du système nerveux. Ce fonctionnement me paraît reposer sur la loi de la résonance.

L'étude de la chronaxie divise donc tout le système nerveux périphérique en deux parties :

1° D'une part, le système sensitivo-moteur dont les chronaxies s'échelonnent de $0\sigma,10$ à $0\sigma,60$ et se distribuent en groupes qui correspondent aux fonctions musculaires.

2° D'autre part, le système sensoriel qui a des chronaxies plus grandes que celles du système sensitivo-moteur, puisque le système optique a une chronaxie au moins double de la plus grande chronaxie qu'on puisse trouver dans un système sensitivo-moteur.

On peut schématiser ces relations fonctionnelles des diverses parties du système nerveux, mises en lumière par des *isochronismes*, dans le tableau suivant qui montre les rapports de la chronaxie avec les différentes parties du système nerveux groupées par région suivant les fonctions musculaires. Dans ce tableau je donne pour chaque groupe la chronaxie moyenne en chiffres ronds :

TABLEAU XVI

**Classification générale du système nerveux cérébro-spinal
par la chronaxie**

Système nerveux périphérique cérébro- spinal $0\sigma,10$ à 1σ et plus.	1 σ et plus. — Système sensoriel.		
	0 $\sigma,10$ à 0 $\sigma,60$. Système sensitivo- moteur.	0 $\sigma,10$. — Régions antérieures sensitivo-motrices; segments proximaux.	Mouvements en avant.
		0 $\sigma,20$. — Régions postérieures sensitivo-motrices; segments proximaux.	Mouvements en arrière.
		0 $\sigma,30$. — Régions antérieures sensitivo-motrices; segments distaux.	Mouvements en avant.
		0 $\sigma,60$. — Régions postérieures sensitivo-motrices; segments distaux.	Mouvements en arrière.

CHAPITRE III

RELATIONS DES SYSTÈMES SENSITIVO-MOTEURS-RACHIDIENS AVEC LES NEURONES CENTRAUX

Nous n'avons pas, jusqu'à présent, de moyen de connaître la chronaxie des neurones centraux.

Mais la pathologie nous révèle des *répercussions* des lésions des neurones centraux sur les chronaxies des neurones moteurs périphériques et des muscles, analogues à la répercussion réflexe qu'ont sur eux les lésions des neurones sensitifs périphériques.

Ces répercussions traduisent encore l'action des centres sur la chronaxie motrice périphérique. Il est même remarquable que les répercussions les plus importantes et les plus constantes s'observent dans les lésions des corps opto-striés qui conditionnent les syndromes parkinsoniens avec rigidité musculaire : il y a probablement un rapprochement à faire avec l'action des lobes optiques de la grenouille sur la chronaxie motrice que Mme Lapicque a récemment mise en lumière¹.

L'étude des répercussions des lésions centrales sur la chronaxie des nerfs moteurs et des muscles met en évidence des phénomènes très intéressants.

D'abord, nous avons vu que toutes les fois que la lésion centrale a pour effet de provoquer des mouvements involontaires incessants, la chronaxie motrice périphérique reste normale et cela, quelle que soit la forme du mouvement : athétose, mouvements myocloniques, mouvements choréiformes, tremblements, etc. L'activité dont le muscle est le siège empêche peut-être sa chronaxie de se modifier.

Mais, toutes les fois que la lésion centrale produit un état de contracture ou de rigidité musculaire, la chronaxie se modifie, l'équilibre des chronaxies antérieures et postérieures est rompu. Lorsque le rapport des chronaxies des muscles postérieurs à celles des muscles antérieurs est plus grand que normalement, le segment de

1. Mme LAPICQUE, *loc. cit.*

membre est entraîné en avant. Quand le rapport est plus petit que normalement, il est entraîné en arrière. Quand le rapport est égal à 1, le membre se fixe en position rectiligne.

Il est des cas complexes, évidemment, où les choses ne sont pas aussi faciles à interpréter. Mais, dans la majorité des cas, les choses se présentent avec cette simplicité schématique : les nombreux exemples que j'en ai donnés en font foi.

Ces observations révèlent que l'attitude que prend un segment de membre, en pathologie, dépend du rapport des chronaxies des deux groupes musculaires antagonistes. Il y a donc un rapport entre l'attitude du membre et la chronaxie, en pathologie. Or, l'attitude du membre au repos est fonction du tonus musculaire. C'est dire qu'il y a un certain rapport entre le tonus musculaire et la chronaxie ou plutôt entre l'équilibre du tonus des différents muscles et l'équilibre des chronaxies. Toute rupture de l'équilibre de l'un entraîne une rupture de l'équilibre de l'autre.

À l'état normal, il est facile de vérifier la même loi. C'est au membre supérieur qu'il faut s'adresser pour cette étude. En effet, au membre inférieur, le poids du membre est tel que la pesanteur contrebalance le tonus et masque la loi que je veux mettre en évidence.

Au membre supérieur, au contraire, le poids du membre est plus faible par rapport à l'intensité du tonus et les phénomènes deviennent nets. Leur netteté augmente encore quand on diminue l'action de la pesanteur en plongeant le sujet dans un bain. L'attitude normale du membre supérieur au repos s'accroît dans l'eau.

Comment se tient donc un membre supérieur au repos? L'attitude de ce membre se résume en deux mots : il est en flexion et pronation légères. Le bras est légèrement fléchi sur l'épaule, l'avant-bras est légèrement fléchi sur le bras et en légère pronation, la main est légèrement fléchie sur l'avant-bras, les doigts sont légèrement fléchis sur la main.

Cette attitude indique que les muscles antérieurs l'emportent sur les muscles postérieurs à tous les segments. Or, nous avons vu que les muscles antérieurs ont une chronaxie plus petite que celle des muscles postérieurs, exception faite de ceux des faisceaux musculaires postérieurs qui sont, non antagonistes, mais synergiques des muscles antérieurs, étant pourvus de la fonction de frein des *fléchisseurs*.

On peut donc dire que l'attitude du membre supérieur au repos est due à la prédominance d'actions des muscles de petite chronaxie sur les muscles de grande chronaxie. C'est dire que les petites chronaxies se trouvent dans les muscles dont le tonus est le plus grand.

Les attitudes pathologiques, dans lesquelles le rapport normal des chronaxies augmente, sont l'exagération de l'attitude normale; celles dans lesquelles le rapport normal diminue sont le renversement de l'attitude normale. L'étude de l'évolution de la chronaxie des

nouveau-nés au cours du développement nous a montré le même rapport entre l'attitude et les chronaxies.

Est-ce à dire que la chronaxie explique tout le tonus ? Certainement non, mais je ne puis m'empêcher de faire remarquer que les variations de la chronaxie suivent les variations du tonus, en pathologie, ce qui traduit un rapport entre les deux phénomènes.

Quel est le rapport de cause à effet entre les variations de la chronaxie et l'attitude des membres ? Je me garderai bien de répondre à cette question, car rien, dans mes expériences et mes observations, ne permet actuellement de le faire.

Le rapport entre la chronaxie et le tonus des muscles au repos traduit encore le rapport de la chronaxie avec les fonctions au même titre que le rapport de la chronaxie avec les mouvements effectués par les différents muscles.

L'étude des variations de la chronaxie dans les lésions des neurones centraux met donc bien en évidence l'action des centres sur la chronaxie motrice périphérique. Elle permet de reconnaître un nouveau rapport entre la chronaxie et la fonction du muscle considéré. En sorte que, dans les relations des neurones périphériques avec les neurones centraux c'est encore, en dernière analyse, le rapport de la chronaxie avec la fonction musculaire qui se montre la chose essentielle.

C'est encore la même chose que révèle l'étude des poisons et des infections qui se localisent sur les systèmes neuro-musculaires suivant leurs chronaxies.

En dernière analyse, la chronaxie exprime toutes les propriétés fonctionnelles du tissu considéré. Les muscles ou faisceaux musculaires qui ont la même chronaxie ont, à la fois, les mêmes fonctions physiologiques et les mêmes aptitudes pathologiques.

Nous retrouvons encore ici, dans les lésions des neurones centraux, ce que nous avons vu à propos des lésions des nerfs moteurs et des muscles : la chronaxie n'est pas en rapport avec la nature de la lésion, mais avec la physiologie pathologique. La chronaxie sépare les syndromes dans lesquels on observe des mouvements de ceux dans lesquels on observe de la contracture ou de la rigidité musculaire. C'est si vrai qu'une contracture périphérique dans sa cause, comme celle qui succède à la paralysie faciale périphérique, se comporte, au point de vue de la chronaxie, comme n'importe quel état de contracture ou de rigidité secondaire à une lésion centrale. De proche en proche, nous arrivons ainsi à une idée synthétique très générale et très simple :

La chronaxie du muscle dépend de la fonction musculaire.

La chronaxie du nerf moteur est égale à celle du muscle : c'est la loi de l'isochronisme du nerf et du muscle.

La chronaxie du nerf sensitif est égale à celle du nerf moteur correspondant : c'est la loi de l'isochronisme des nerfs sensitifs et des nerfs moteurs par régions.

Le système sensoriel, au contraire, est hétérochrone avec le système sensitivo-moteur.

Les réactions des neurones les uns sur les autres paraissent bien se faire suivant leurs chronaxies : tout paraît se passer comme si le système nerveux constituait un système de *résonances*.

Enfin, la chronaxie motrice périphérique paraît bien pouvoir être modifiée par l'action des centres nerveux. La chronaxie serait ainsi en rapport non seulement avec les propriétés fonctionnelles du neurone considéré, mais encore avec l'état fonctionnel des neurones qui lui sont fonctionnellement associés.

Telles sont les idées générales qu'il me paraît légitime d'émettre en s'appuyant sur tous les faits physiologiques et pathologiques que j'ai établis sur l'Homme et sur le Chien et sur tous ceux qu'ont montrés L. Lapique et son école en physiologie animale.

Il manque à notre étude encore bien des choses. Je n'ai pas abordé notamment les nerfs de la vie végétative. Des jalons ont été posés récemment par L. Lapique et certains de ses élèves à ce sujet.

Il est vraisemblable que le même travail que celui que je viens d'ébaucher pour le système cérébro-spinal ou de relation s'établira pour le système nerveux végétatif. De nouveaux faits viendront compléter ou modifier ce que je viens d'exposer, et éclaireront les points obscurs.

Telles qu'elles sont, cependant, mes expériences et mes observations me paraissent justifier la tentative de généralisation que je viens de faire et qui me paraît jeter une certaine lumière sur le fonctionnement du système nerveux à l'état normal et pathologique, et synthétiser l'état actuel de nos connaissances à ce sujet.

CHAPITRE IV

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

On peut résumer tous les résultats des recherches précédentes sur la chronaxie de l'homme et des mammifères dans les conclusions suivantes :

1° La mesure de la chronaxie sur un sujet entier, à travers les téguments, peut se faire avec la même précision que sur les organes isolés.

2° Sur le muscle intact, pourvu de ses nerfs, on ne connaît que la chronaxie nerveuse; les recherches sur le point moteur démontrent que, au moins pour les excitations liminaires, le muscle n'est excitable à sa surface qu'au niveau de la projection sur cette surface des zones d'épanouissement des branches nerveuses à l'intérieur du muscle. Dans l'excitation longitudinale, l'excitation paraît bien prendre naissance le plus souvent dans les zones d'épanouissement des branches nerveuses.

L'isochronisme du nerf, du point moteur et de l'excitation longitudinale s'expliquent ainsi tout naturellement.

3° La chronaxie, en physiologie normale, comme en physiologie pathologique, et dans le cours du développement chez le nouveau-né, classe les muscles comme les classe la durée de leur contraction. réserve faite de la période initiale de la dégénérescence wallérienne, pendant laquelle l'évolution plus rapide de la chronaxie que de la contraction crée un certain décalage. L'échelle des variations pathologiques de la chronaxie est très grande puisqu'elle va de 1/3 de la chronaxie normale à 200 et 300 fois la valeur normale. Dans les variations légères, la valeur pathologique ne peut s'exprimer qu'en fonction de la chronaxie normale. Dans les grandes variations elle en est indépendante : la pathologie efface les différenciations physiologiques.

4° La chronaxie peut atteindre des valeurs aussi grandes dans les troubles purement circulatoires et dans le refroidissement que dans les lésions dégénératives.

5° La chronaxie varie de la même manière dans toutes les lésions musculaires et justifie la synthèse que j'avais faite antérieurement de la dégénérescence, des myopathies et de la maladie de Thomsen.

6° Les troubles circulatoires, réalisés soit par la pathologie, soit

par l'expérimentation (compression) et certaines phases de la régénération, produisent une augmentation de la chronaxie du nerf avec contraction lente par le nerf qu'on n'avait observée jusqu'ici que dans le cathélectrotonus et la striction progressive (L. Lapicque, H. Cardot et H. Laugier).

7° La loi de l'isochronisme du nerf moteur et du muscle est démontrée par la pathologie humaine, comme par les expériences avec la strychnine ou le curare. L'étude de la régénération après section et suture des nerfs montre que le retour des mouvements volontaires est contemporain du retour de l'excitabilité par le nerf, conditionné lui-même par le retour de l'isochronisme du nerf et du muscle.

8° La chronaxie classe les muscles et leurs nerfs moteurs suivant leurs fonctions. — Au point de vue des rapports de la chronaxie et des fonctions musculaires il faut substituer à la notion de *flexion* et *extension* la notion beaucoup plus générale de *mouvements en avant* et *mouvements en arrière*, qui permet de faire abstraction de l'orientation des articulations.

Le corps est divisé par le plan frontal en une moitié antérieure et une moitié postérieure.

Les mouvements en avant sont produits par les muscles antérieurs et vice versa.

La chronaxie des muscles antérieurs est, dans toutes les régions, plus petite que celle des muscles postérieurs.

De cette loi de la classification des systèmes neuro-musculaires par la chronaxie, suivant leurs fonctions, découlent les corollaires suivants :

a) Tous les muscles synergiques d'un même mouvement ont la même chronaxie.

La pathologie, en détruisant dans certains cas des isochronismes normaux, et en en produisant d'anormaux, fait disparaître des synergies normales et en fait apparaître d'anormales.

b) Les muscles postérieurs sont divisés par la chronaxie en deux groupes de muscles ou de faisceaux musculaires :

1° Les antagonistes des muscles antérieurs qui ont une chronaxie plus grande que celle de ces muscles.

2° Les synergiques des muscles antérieurs qui ont pour rôle de modérer leur action et qui ont la même chronaxie qu'eux.

De là l'existence, dans certains muscles, de deux points moteurs et de deux chronaxies, correspondant chacune à une contraction de rapidité différente.

c) L'attitude des membres au repos est en relation avec le rapport de la chronaxie des muscles antérieurs à celle des muscles postérieurs. Il en est de même en pathologie et au cours du développement chez le nouveau-né. Il y a donc une relation à préciser entre le *tonus* et la *chronaxie*.

d) Dans une même fonction, la chronaxie des muscles distaux est plus grande que la chronaxie des muscles proximaux.

Toutes les chronaxies motrices normales se répartissent en 3 groupes dont les valeurs sont :

1° 0 σ ,08 à 0 σ ,16

2° 0 σ ,20 à 0 σ ,36

3° 0 σ ,44 à 0 σ ,72.

Le triceps au membre supérieur forme un groupe à part, plutôt en raison de sa fonction, qu'en raison de sa chronaxie de 0 σ ,16 à 0 σ ,32. J'admets donc un 4^e groupe spécial au membre supérieur.

e) Toutes les lois établies en physiologie normale se retrouvent en physiologie pathologique.

9° Les nerfs de sensibilité générale ont la même chronaxie que les nerfs moteurs et les muscles de la même région. La chronaxie groupe donc tout le système nerveux périphérique en systèmes sensitivo-moteurs caractérisés par la même chronaxie qui est elle-même sous la dépendance des fonctions des muscles du système.

Les fonctions musculaires paraissent donc être le centre d'organisation de tout le système sensitivo-moteur périphérique.

La constitution de ces groupes sensitivo-moteurs par la chronaxie rend compte en partie des réflexes, au moins de certains d'entre eux.

10° Les nerfs sensoriels ont une chronaxie plus grande que les systèmes sensitivo-moteurs.

La chronaxie qui permet de grouper ensemble les nerfs sensitifs et les nerfs moteurs et muscles sépare au contraire les nerfs sensoriels des systèmes sensitivo-moteurs.

11° En pathologie, on peut classer les modifications de la chronaxie en deux groupes :

a) Celles qui dépendent de lésions ou troubles fonctionnels du nerf moteur et du muscle.

b) Celles qui dépendent de lésions ou troubles fonctionnels portant sur des neurones en rapport fonctionnel avec le neurone moteur périphérique.

1° Toute lésion d'un neurone quelconque peut retentir sur la chronaxie des neurones moteurs périphériques avec lesquels il est fonctionnellement associé.

2° Les répercussions s'observent seulement dans les lésions en activité.

3° Les atrophies réflexes sont un cas particulier de cette loi générale qu'on peut appeler « la loi des répercussions ».

On devrait donc étendre le sens du terme « réflexe » en pathologie et désigner sous ce nom toutes les *répercussions*, que leur point de départ soit dans le neurone sensitif périphérique ou dans les neurones moteurs centraux.

12° Les répercussions s'observent non seulement dans les lésions à longue évolution, mais encore dans les troubles fonctionnels comme peuvent en produire les troubles circulatoires (expériences de compression).

13° Les répercussions démontrent l'action de l'état fonctionnel des centres sur la chronaxie motrice. Les expériences de Mme Lapicque aboutissent à la même conclusion.

14° Les répercussions montrent le lien étroit qui unit toutes les parties composant une région depuis l'os jusqu'à la peau; une région forme un tout physiologique caractérisé par le même temps physiologique.

15° Les lésions des neurones moteurs centraux ou périphériques, sans dégénérescence, sont classées en deux groupes par la chronaxie :

a) Quand il y a des mouvements involontaires (athétose, myoclonies, tremblements, mouvements choréiformes, etc...) la chronaxie motrice périphérique reste normale.

b) Quand il y a contracture ou rigidité musculaire, la chronaxie se modifie et le rapport de la chronaxie des muscles contracturés aux muscles non contracturés est plus grand que normalement. Quand tous les muscles d'un segment de membre ou d'une région sont contracturés, le rapport de la chronaxie des muscles antérieurs aux muscles postérieurs est plus petit que normalement.

16° En pathologie, la chronaxie permet de dresser des courbes d'évolution très précises des maladies ou blessures neuro-musculaires.

17° L'expérimentation sur le Chien confirme toutes les conclusions tirées de l'étude de la chronaxie de l'Homme aussi bien en physiologie normale qu'en pathologie.

18° En dernière analyse, tout le fonctionnement général du système nerveux paraît reposer, tant à l'état normal qu'à l'état pathologique, sur l'équilibre des chronaxies.

ERRATA

Page 21, dernière ligne, *au lieu de* : pôle de l'onde d'ouverture, *lire* : pôle négatif de l'onde d'ouverture.

Page 29, avant-dernière ligne, *au lieu de* : tissu qu'on étudie ou par, *lire* : tissu qu'on étudie et par.

Page 59, avant-dernière ligne, *au lieu de* : première de ces trois expériences, *lire* : deuxième de ces trois expériences.

Page 60, 2^e ligne après le tableau : (Voir fig. 7), s'applique à la deuxième expérience.

Page 85, 15^e ligne, *au lieu de* : soit suffisamment grand, *lire* : soit suffisamment petit.

Page 111, 1^{er} tableau, 1^{re} ligne de la dernière colonne, *au lieu de* : 0 σ , 10, *lire* : 0 σ , 16.

Page 125, dernière ligne de la dernière colonne du tableau, *au lieu de* : 3 σ , 8, *lire* : 0 σ , 8.

Page 129, tableau, 3^e colonne, 3^e ligne, *au lieu de* : 1140, *lire* : 114.
— Même tableau, 3^e colonne, 4^e ligne, *au lieu de* : 760, *lire* : 76.

Page 152, 3^e ligne, *au lieu de* : coupures, *lire* : mesures.

Page 153, 3^e ligne, *au lieu de* : le biceps, *lire* : le triceps.

Page 189, 28^e ligne, *au lieu de* : sur l'extenseur commun à droite, *lire* : sur l'extenseur commun à gauche.

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE	I
-------------------	---

INTRODUCTION

LA LOI D'EXCITATION ET LA CHRONAXIE.

I. — <i>Loi de Hoorweg</i>	2
II. — <i>Loi de Weiss</i>	4
III. — <i>La chronaxie</i>	7

PREMIÈRE PARTIE

TECHNIQUE DE LA MESURE DE LA CHRONAXIE A TRAVERS LES TÉGUMENTS.

CHAPITRE I. — <i>Des conditions de l'excitation percutanée des nerfs et des muscles</i>	15
I. — Différents modes d'excitation percutanée	16
A. — Point moteur	16
1 ^{re} Exposé et critique des conceptions classiques	16
2 ^{de} Recherches personnelles	18
3 ^{de} Conclusions	27
B. — Excitation longitudinale	28
II. — Distribution du courant dans l'excitation à travers les téguments. — Difficultés particulières dues au courant dérivé	29
III. — Du mode d'action des électrodes dans l'excitation percutanée. — Pôles virtuels. — Méthode dite « monopolaire » et méthode « bipolaire »	31
A. — Pôles réels et pôles virtuels	31
B. — Méthode bipolaire et méthode monopolaire	33
1 ^{re} Expériences de H. Cardot et H. Laugier	33
2 ^{de} Expériences personnelles	34
a) Expériences sur l'inversion artificielle chez l'Homme normal	34
b) Expériences sur la localisation des électrodes physiologiques chez l'Homme normal	35
C. — Résumé	41
IV. — De la résistance des tissus entre les deux électrodes dans l'application percutanée	42
A. — Variations de l'intensité d'un courant continu traversant les téguments	42

1 ^o Variation de l'intensité pendant le passage du courant	44
a) Expériences sur l'avant-bras	44
b) Expériences sur la paume de la main	45
c) Résumé	47
2 ^o Variation de l'intensité initiale en fonction du voltage	49
3 ^o Variation de l'intensité dans les renversements du courant . .	50
B. — Indétermination de la résistance entre les deux électrodes . .	52
CHAPITRE II. — <i>Recherches préliminaires à l'établissement d'une technique de mesure de la chronaxie à travers les téguments.</i>	
I. — Position de la question	54
II. — Recherches en vue de stabiliser l'intensité et de connaître la résistance du circuit	56
A. — Influence des résistances additionnelles en série avec le sujet sur les variations de l'intensité	56
1 ^o Technique	56
2 ^o Expériences	57
a) 1 ^{re} série. — Influence des résistances en série sur les variations de l'intensité pendant les premières secondes du passage du courant.	57
b) 2 ^e série. — Influence des résistances en série sur les variations de l'intensité initiale en fonction du voltage	58
B. — Recherches en vue de connaître la résistance du circuit de décharge des condensateurs	64
III. — Choix d'un montage pour la mesure de la chronaxie à travers les téguments avec les décharges de condensateurs	69
CHAPITRE III. — <i>Technique de la mesure de la chronaxie dans l'excitation percutanée</i>	
I. — Instrumentation.	71
A. — Table	71
B. — Électrodes	74
C. — Appareils donnant des ondes brèves de durée variable et connue	77
1 ^o Condensateurs	77
2 ^o Rhéotome balistique de Weiss.	78
D. — Montage du circuit.	79
1 ^o Condensateurs	79
2 ^o Rhéotome balistique de Weiss	83
E. — Clef et renverseur	83
F. — Source et réducteur de potentiel	84
G. — Commutateurs accessoires.	86
II. — Technique	87
A. — Considérations générales.	87
B. — Chronaxie des muscles squelettiques et des nerfs moteurs périphériques.	88
C. — Chronaxie des nerfs sensitifs périphériques	90

CHAPITRE IV. — <i>Contrôle expérimental de la technique</i>	93
I. — Première série d'expériences. — Rapport entre le voltage et l'intensité dans la branche du sujet	94
II. — Deuxième série d'expériences. — Chronaxies expérimentales comparées aux chronaxies calculées de diverses manières.	100
III. — Troisième série d'expériences. — Élimination de la peau, indirectement chez l'homme et directement chez l'animal.	104
IV. — Quatrième série d'expériences. — Contrôle des condensateurs et du coefficient par le rhéotome balistique de Weiss.	107
V. — Cinquième série d'expériences. — Lois de Hoorweg et de Weiss chez l'homme et chez le chien	115
A. — Lois de Hoorweg chez l'homme	117
B. — Lois de Weiss chez l'homme.	121
1° Rhéotome balistique de Weiss.	121
2° Chronaximètre de Lapicque	126
3° Loi de Hoorweg sur le Chien	130
VI. — Résumé	132

DEUXIÈME PARTIE

LA CHRONAXIE NORMALE DE L'HOMME.

CHAPITRE I. — <i>Approximation des mesures de chronaxie à travers les téguents</i>	139
I. — Points moteurs musculaires.	139
II. — Nerfs.	145
III. — Excitation longitudinale.	148
CHAPITRE II. — <i>Chronaxie normale des muscles et nerfs moteurs et des nerfs sensitifs au membre supérieur. — Leur classification fonctionnelle par la chronaxie</i>	151
I. — Muscles et nerfs moteurs.	152
A. — Groupement par la chronaxie.	152
1° Groupes homogènes	153
a) 1 ^{er} groupe	153
b) 2 ^e groupe	153
I. — Chronaxie des nerfs médian et cubital excités au bras et au coude et des points moteurs des muscles de leur domaine situés à l'avant-bras et à la face dorsale de la main	154
II. — Chronaxie des muscles situés à la paume de la main et des nerfs médian et cubital dans leur trajet au poignet.	155
α) Difficultés rencontrées dans sa mesure	155
1° Conditions de l'excitation des nerfs au poignet.	159
2° Comparaison de la chronaxie avec les deux pôles	159
3° Conditions de l'excitation à la paume de la main.	161
β) Technique éliminant les causes d'erreur dans les mesures sur les nerfs au poignet et sur les points moteurs à la paume de la main	162

1° Au poignet.	162
2° A la paume de la main.	164
3° Contre-épreuve.	164
c) 3° groupe.	165
2° Triceps brachial et radiaux.	166
a) Chronaxie du triceps brachial.	166
b) Chronaxie des radiaux.	167
c) Classification du triceps et des radiaux. — Constitution d'un 4° groupe.	167
3° Signification de la classification des muscles du membre supérieur par la chronaxie.	168
4° Classification des muscles par l'indice de vitesse d'excitabilité.	172
B. — Double point moteur et double chronaxie dans les extenseurs des doigts.	177
1° Faits en contradiction avec mes recherches antérieures.	177
2° Expériences sur la chronaxie des extenseurs.	180
a) Détermination exacte du point moteur des extenseurs. — Double point moteur.	180
b) Chronaxie des deux points moteurs des extenseurs.	182
C. — Expériences sur l'action de la distance des électrodes en méthode monopolaire chez l'homme.	187
D. — Excitation longitudinale des muscles à double point moteur et à double chronaxie. — Interprétation générale de l'excitation longitudinale.	192
E. — Signification physiologique de la double chronaxie des extenseurs. — Étude d'ensemble des rapports de la physiologie des muscles du membre supérieur avec la chronaxie.	194
F. — Résumé.	195
II. — Nerfs sensitifs.	197
III. — Conditions de quelques réflexes du membre supérieur.	202
CHAPITRE III. — <i>Chronaxie normale des membres inférieurs, de la face, du cou, de la ceinture scapulaire et du tronc.</i>	204
I. — Membres inférieurs.	204
A. — Muscles et nerfs moteurs.	204
1° Constitution des groupes fonctionnels par la chronaxie.	204
2° Antagonistes et synergiques.	206
B. — Nerfs sensitifs.	208
II. — Face.	209
A. — Muscles et nerfs moteurs.	209
1° Domaine du nerf facial.	210
2° Domaine de la branche motrice du nerf trijumeau.	211
B. — Nerfs sensitifs. — Trijumeau.	212
C. — Nerfs sensoriels. — Essai de mesure de la chronaxie du système optique (Nerf-Rétine).	213
1° Technique.	213
2° Mesures de chronaxie.	214

III. — Cou et ceinture scapulaire	215
A. — Cou.	215
B. — Ceinture scapulaire.	215
IV. — Tronc	217
A. — Muscles agissant sur la colonne vertébrale.	218
B. — Muscles agissant sur les côtes. — Diaphragme et ses antagonistes.	221
C. — Groupement général des muscles du tronc par la chronaxie.	223
V. — Résumé.	224
CHAPITRE IV. — <i>La chronaxie chez le Nouveau-Né. — Son évolution au cours du développement</i>	225
CHAPITRE V. — <i>Chronaxie normale du sciatique chez le Chien</i>	229
A. — Expériences	229
B. — Discussions et interprétations	237
RÉSUMÉ	241

TROISIÈME PARTIE

VARIATIONS PATHOLOGIQUES ET EXPÉRIMENTALES DE LA CHRONAXIE CHEZ L'HOMME.

CHAPITRE I. — <i>Variations pathologiques</i>	245
I. — Variations de la chronaxie dans les lésions des neurones moteurs périphériques et des muscles. — Dégénérescence wallérienne et maladies musculaires primitives	247
A. — Relations de la chronaxie avec la forme de la contraction	247
B. — Comparaison de la chronaxie mesurée sur le nerf, sur le point moteur et par excitation longitudinale, dans les lésions des neurones moteurs périphériques et des muscles.	257
1° Distinction de la dégénérescence partielle et totale. — Comparaison avec les maladies musculaires primitives.	257
2° Contractions lentes par excitation du nerf.	265
C. — Action des courants progressifs dans la myopathie. — Séparation par ces courants des fibres vives et lentes d'un même muscle	274
D. — Évolution de la chronaxie pendant la dégénérescence et la régénération des nerfs et des muscles.	278
1° Dégénérescence.	278
a) Début	278
b) 2° période. — Constitution du syndrome.	280
c) 3° période. — Période d'état	280
d) 4° période	280
2° Régénération.	281
<i>Observations.</i>	
1 ^{re} série : Sutures tardives.	284
2° série : Sutures précoces.	293
3° Résumé.	305
E. — Syndromes d'irritation.	307

F. — Anomalies fonctionnelles en rapport avec les anomalies de la chronaxie	308
G. — Résumé.	311
II. — Variations de la chronaxie sans lésion des muscles ni des neurones moteurs périphériques	312
A. — Répercussion de la lésion d'un nerf sur la chronaxie des nerfs et muscles de même chronaxie du côté opposé et du même côté.	313
B. — Atrophies réflexes	317
C. — Modifications de la chronaxie par répercussion de la lésion des neurones auxquels ils sont fonctionnellement associés. . . .	320
1° Lésions du neurone sensitif périphérique	320
2° Lésions du neurone moteur central (faisceau pyramidal) et lésions des voies motrices centrales extra-pyramidales (corps opto-striés	321
a) Hémiplegies cérébrales.	323
b) Paraplegies	325
c) Hémiplegie spinale.	325
d) Syndromes parkinsoniens	326
1° Maladies de Parkinson.	327
2° Syndromes parkinsoniens post-encéphalitiques	330
3° Syndromes parkinsoniens chez un pseudo-bulbaire . . .	333
4° Maladie de Wilson.	335
e) Maladie de Little.	335
3° Contracture secondaire à la paralysie faciale périphérique . .	336
4° Apparition de modifications de la chronaxie à la disparition des myoclonies secondaires à l'encéphalite léthargique. . . .	338
D. — Résumé.	340
III. — Localisation des poisons et des infections sur les systèmes neuro-musculaires de l'Homme suivant leurs chronaxies	341
CHAPITRE II. — <i>Modifications expérimentales de la chronaxie chez l'Homme et chez le Chien</i>	345
I. — Expériences préalables	346
A. — Recherches sur l'influence de l'immobilité sur la chronaxie d'un sujet normal.	346
B. — Recherches sur l'influence de l'état de relâchement complet ou incomplet du muscle sur la chronaxie.	347
II. — Modifications expérimentales de l'excitabilité neuro-musculaire sous l'influence de la suppression et du rétablissement de la circulation d'un membre chez l'Homme	350
A. — Disposition des expériences	351
1° Compression avec stase veineuse	352
2° Compression avec anémie.	353
B. — Évolution de l'excitabilité des nerfs et muscles sous-jacents à la compression.	354
1° Nerf	354
a) Pendant la compression.	354
b) Après la décompression	355

2° Point moteur du muscle	359
a) Pendant la compression	359
1. Stase veineuse	359
2. Anémie	360
b) Après la décompression	360
3° Excitation longitudinale	364
a) Pendant la compression	365
1. Stase veineuse	365
2. Anémie	365
b) Après la décompression	366
C. — Modifications expérimentales de l'excitabilité par répercussion réflexe	369
1° Point moteur	371
a) Pendant la compression	371
b) Après la décompression	371
2° Nerf	372
a) Pendant la compression	372
b) Après la décompression	372
D. — Conclusions	376
III. — Modifications expérimentales de la chronaxie par refroidissement d'un membre chez l'Homme normal	377
A. — Disposition des expériences	378
B. — Évolution de l'excitabilité des muscles du côté refroidi après le bain froid local	379
C. — Évolution de l'excitabilité des muscles du côté opposé au côté refroidi pendant le bain et après le bain	381
D. — Résumé	384
IV. — Dégénérescence expérimentale chez le Chien. — Répercussions	385
A. — Variations de la chronaxie par répercussion de la section d'un nerf d'un côté sur le nerf homologue du côté opposé	386
B. — Dégénérescence	387
RÉSUMÉ	389

QUATRIÈME PARTIE

ÉTUDE SYNTHÉTIQUE DE LA CHRONAXIE EN PHYSIOLOGIE NORMALE ET PATHOLOGIQUE.
ESSAI DE PHYSIOLOGIE GÉNÉRALE.

CHAPITRE I. — <i>Nerfs moteurs et muscles</i>	394
CHAPITRE II. — <i>Nerfs sensitifs et nerfs sensoriels. — Relations entre les chronaxies des systèmes neuro-musculaires et sensitifs</i>	399
CHAPITRE III. — <i>Relations des systèmes sensitivo-moteurs rachidiens avec les neurones centraux</i>	402
CHAPITRE IV. — <i>Conclusions générales</i>	406

DEUXIÈME THÈSE

Propositions données par la Faculté

BOTANIQUE :

TROPISMES ET TACTISMES

GÉOLOGIE :

LES PÉRISSODACTYLES ET LEUR ÉVOLUTION

Vu et approuvé :

Paris, le 9 Mai 1923

Le Doyen de la Faculté des Sciences,

M. MOLLIARD.

Vu, et permis d'imprimer :

Le Recteur de l'Académie de Paris,

P. APPELL.

